

Luonnontieteen historian opetus tieteenhistorian sisältöjen avulla

– kehittämistutkimus lukion
historianopetuksen mahdollisuuksista

Lasse Hongisto

Esitetään Helsingin yliopiston käyttäytymistieteellisen tiedekunnan
suostumuksella julkisesti tarkastettavaksi Helsingin yliopiston päära-
kennuksen Auditoriossa XIV (Yliopistonkatu 1)
lauantaina 1.12.2012 klo 10.

Ohjaajat

Professori
Jari Lavonen
Helsingin yliopisto

Dosentti
Jan Löfström
Helsingin yliopisto

Kustos

Professori
Jukka Rantala
Helsingin yliopisto

Esitarkastajat

Professori
Heimo Saarikko
Helsingin yliopisto

Dosentti
Kari Sormunen
Itä-Suomen yliopisto

Dosentti
Heikki Mikkeli
Helsingin yliopisto

Vastaväittäjä

Dosentti
Kari Sormunen
Itä-Suomen yliopisto

Historiallis-yhteiskuntatiedollisen kasvatuksen
tutkimus- ja kehittämiskeskus
HELSINKI

Historiallis-yhteiskuntatiedollisen kasvatuksen
tutkimus- ja kehittämiskeskuksen tutkimuksia 13

Taitto: Ville Laustela ja Eeva Hagel

ISBN 978-952-10-8409-6 (nid.)
ISBN 978-952-10-8410-2 (PDF)
ISSN 1459-5710
Sarja-asu: Khora Oy
Paino: Unigrafia, Helsinki 2012

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	5
SAATTEEKSI	7
1. JOHDANTO	9
2. LUONNONTIETEEN HISTORIA OSANA LUONNONTIETEEN OPETUSTA	15
2.1 Luonnontieteen opetus ja positivismin kritiikki	15
2.2 Ekskursio: Suomalaisen lukion opetussuunnitelman perusteet 2003 ja tieteen luonne	21
2.3 NOS-opetuksen tavoitteet leviävät hitaasti käytännön opetukseen	22
2.4 Tieteen luonne ja tieteenfilosofia	27
2.5 Luonnontieteen opetus ja luonnontieteen historia	29
2.5.1 Luonnontieteen historian hyödyt luonnontieteen opetuksessa	29
2.5.2 Luonnontieteen opettaminen ja luonnontieteen historian kontekstualismi	33
2.5.3 Luonnontieteen historian opettamisen vaikutus tieteen luonteeseen keskeisten piirteiden syventämiseen	35
3. LUONNONTIETEEN HISTORIAN TIEDEYHTEISÖN KANNANOTTO LUONNONTIETEEN HISTORIAN OPETUKSEN SISÄLTÖÖN	41
3.1 Keskustelu luonnontieteen historian yleiskuvasta eli ”Big Picture” - kuvasta	41
3.2 Luonnontieteen historian yleisesitykset – opetuksen käytännön tuki?	47
3.2.1 Internalistinen yleisesitystradio eli HPS (History and Philosophy of Science) -traditio	48
3.2.2 Yleisesitysten tieteenfilosofinen perinne	52
3.2.3 Luonnontieteen historian eksternalistiset yleisesitykset eli STS-perinne	53
3.2.4 Yleisesitykset, joissa ylitetään internalistiset ja eksternalistiset rajalinjat	59
4. LUONNONTIETEEN HISTORIAN OPETUKSEN KOLME KEHITTÄMISPILARIA	62
4.1 Internalismi luonnontieteen historian opetuksessa: valistuksen suuresta kertomuksesta HPS-kontekstualismiin	65
4.1.1 Valistuksen luonnontieteen edistyskertomus ja tieteenfilosofisen rationaalisen rekonstruktion synty	65
4.1.2 Ernst Mach: luonnontieteen historian merkitys vahvistuu opetuksessa	69
4.1.3 Duhem-teesit ja niiden vaikutus	71
4.1.4 Koyré ja luonnontieteen historia aatehistoriana	77
4.1.5 Luonnontieteen internalistisen historian perintö HPS-opetustutkimuksessa	81
4.2 Luonnontieteen eksternalistinen historiallinen tulkinta ja sen opetuksellinen perustelu	83
4.2.1 Luonnontieteen historian eksternalistisen tulkinnan lähtökohdat	83

4.2.2	Marxilaiset luonnontieteen historian tulkinnat ja niiden herättämät reaktiot	85
4.2.3	Sosiaaliset selitykset luonnontieteen historiassa	89
4.2.4	Tieteen vallankumouksen irrationaalinen tausta	93
4.2.5	Kuhnin paradigma-teesi ja sen vastaanotto	95
4.2.6	Luonnontieteen, politiikan ja talouden yhteyden analyysit	101
4.2.7	Tieteensosiologia luonnontieteen historian valtavirtana	105
4.2.8	Luonnontieteen eksternalistisen historian perintö luonnontieteen historian opetuskokeiluissa	110
4.3	Narratiivit luonnontieteen historian opetuskäytössä	115
4.3.1	Narratiivien opetuksellinen voima	115
4.3.2	Narratiivit luonnontieteen opetuksen tukena	117
4.3.3	Luonnontieteen suuri tarina eepisenä romanssina	120
4.3.4	Henkilöhistorian uusi tuleminen tieteenhistoriassa	123
4.3.5	Henkilöhistoriassa havaitut vääristymät	126
4.4	Design Based Research -tutkimus eli kehittämistutkimus	130
5.	LUONNONTIETEEN HISTORIA SUOMALAISEN LUKION HISTORIAN OPPIKIRJOISSA	138
5.1	Luonnontieteen historian moderni kertomus kurssissa ”Eurooppalainen ihminen”	138
5.2.	Luonnontieteen historian oppikirjakuvaus lukion historian oppikirjoissa ennen vuotta 2003	142
5.3.	Luonnontieteen historian kuvaus lukion opetussuunnitelman perusteiden 2003 mukaisissa oppikirjoissa	145
5.3.1	Valistuksen eepinen romanssi oppikirjojen luonnontieteen historian pohjana	147
5.3.2	Historian oppikirjojen sisältö HPS-opetuksen kannalta	151
5.3.3	Eksternalismi oppikirjoissa	153
6.	MITEN KEHITTÄÄ LUKION HISTORIAN KURSSIA EUROOPPALAINEN IHMINEN?	158
6.1	Historian oppikirjojen perusteella kirjoitetut opiskelijoiden luonnontieteen historian koevastaukset	158
6.2	Yleiset didaktiset periaatteet artefaktin kehittämiseksi	163
6.3	Didaktisten periaatteiden alustavaa testausta	166
6.4	Luonnontieteen historian liittäminen kurssiin <i>Eurooppalainen ihminen</i>	168
6.5	Ensimmäisen opetuskokeilun tulokset: ryhmä EurA	176
6.6	Kokeilukurssin toinen toteutuskerta (EurB)	185
7.	MITÄ OPITTIIN?	194
	LIITE198	
	LÄHTEET	216
	SUMMARY	235

TIIVISTELMÄ

Tämä väitöskirjan lähtökohta on käytännöllinen. Se pyrkii kehittämään luonnontieteen historian opetusta. Lukion opetuksen käyttöön on saatavana runsaasti luonnontieteen historiaa koskevaa tutkimuskirjallisuutta ja oppimateriaalia. Tämä luonnontieteen historiaa koskeva materiaali ei kuitenkaan ole syntynyt historianopetuksen tarpeisiin. Sitä on kehitetty luonnontieteen opetukseen. Luonnontieteen historian opetuksen tutkimusta ovat tehneet erityisesti luonnontieteen opetuksen tutkijat. Luonnontieteen opetuksentutkimuksen väittäjä on, että nykyaikainen kansalaissivistys vaatii yhä enemmän tietoa luonnontieteen yleisestä luonteesta. Tästä luonnontieteen yleisestä luonteesta käytetään englannin kielellä termiä *Nature of Science* (NOS). Käsite NOS kytkeytyy luonnontieteen opetuksen uudistushankkeisiin, jotka ovat tuoneet tieteenfilosofian, luonnontieteen historian ja tieteensosiologian luonnontieteen opetukseen. Luonnontieteen historian opetuskokeilut edustavat kahta opetuksen tutkimushaaraa, *Science, Technology and Society* (STS) ja *History and Philosophy of Science* (HPS) -opetuskokeiluja. Näiden opetuksen tutkimushaarojen näkökulmat luonnontieteen historiaan ovat erilaiset: HPS painottaa luonnontieteen historian yhteyttä luonnontieteen teorioiden muutoksen tutkimukseen, ja sillä on läheinen suhde tieteenfilosofiaan. STS korostaa luonnontieteen yhteiskunnallista luonnetta, ja sillä on läheinen suhde tieteensosiologiaan (*sociology of science*). Tämän väitöstutkimuksen yksi lähtökohta on analysoida, miten näiden kahden tutkimushaaran piirissä kehitellyt opetuskokeilut ovat siirrettävissä historian opetukseen.

Luonnontieteen historiaa on käytetty sekä HPS- että STS-perinteen opetuskokeiluissa. Kolmantena usein käytettynä opetusmetodina tieteen luonteen opetuskokeiluissa ovat luonnontieteen historian kertomukset eli narratiivit. Miten voitaisiin välttää myyttisiä tulkintoja luonnontieteen historiasta ja valita opetuksellisesti hyväksyttäviä teemoja ja tarinoita? Luonnontieteen historian opetuskokeilujen laatijan ja opetusmateriaalin kirjoittajan on pyrittävä pureutumaan vielä syvemmälle luonnontieteen historian yleiskuvatasoon taakse.

Tämän väitöskirjan sisältämän kehittämistutkimuksen tavoitteena on selvittää, mitkä ovat pätevän luonnontieteen historian opetuksen päämäärät, ja kehittää sopivia luonnontieteen historian kertomuksia tukemaan näiden päämäärien saavuttamista. Työn suuri kysymys on siis, miten lukion opetukseen voidaan siirtää teemoja ja kertomuksia, jotka tukevat ajanmukaisen luonnontieteen historianopetuksen päämääriä, siten kuin ne voidaan identifioida luonnontieteen historian opetuskokeilujen ja opetustutkimuksen perinteessä. Tämän tarkastelun pohjalta on selvitettävä myös millainen on luonnontieteen historian oma perinne eli kartoitettava, millaisten historiallisten kerrostumien läsnäolo historian opetuskokeiluissa siltä osin on otettava huomioon.

Kehittämistä varten valittiin yksi lukion historian kurssi, jonka opetussuunnitelmaan sisältyy luonnontieteen historia. Tässä tutkimuksessa analysoidaan opetussuunnitelman kurssin kuvaus kolmen opetuksellisen kehittämisenäkökulman (niitä kutsutaan tässä tutkimuksessa opetuspilareiksi) kannalta ja tutkitaan opetussuunnitelman tarjoamat mahdollisuudet luonnontieteen historian sisältöjen opetuksen kehittämiseen kurssin puitteissa. Tämän jälkeen analysoidaan opetussuunnitelman kurssikuvauksen käytännön sisältösovellukset kurssin Eurooppalainen ihminen oppikirjoissa edelleen kyseisten kehittämispilarien kannalta. Sisällön analyysin pohjalta tehdään ehdotus kurssin kehittämiseksi sekä hahmotellaan luonnontieteen historian sisällön kehittämisen suuntaviivat muiden lukion historian kurssien kannalta.

Tutkimuksen viimeinen elementti on käytännöllinen. Siinä tutkitaan kolmea opetuspilarin opetukselliset ja luonnontieteen historian sisällölliset lähtökohdat siirretään yhden lukion kurssin opetussuunnitelmaan, sekä opetussuunnitelmaa kuvaaviin oppikirjoihin. Tämän pohjalta tehdään konkreettinen suunnitelma kyseisen kurssin kehittämiseksi ja myös toteutetaan se opetuksessa. Esikuvana tässä tutkimusvaiheessa käytetään luonnontieteen opetustutkimuksessa paljon käytettyä Design Based Research -tutkimusta eli kehittämistutkimusta. Kehittämistutkimuksessa pyritään pragmaattisesta viitekehyksestä lähestymään opetuksen tutkimuksen ongelmia ja kehittämään niihin konkreettisia opetukseen soveltuvia vastauksia. Eräs tällainen tutkimusongelma on väitöskirjan teema: luonnontieteen historian opetuksen mahdollisuudet suomalaisessa lukio-opetuksessa. Luonnontieteen historia on opetuksellisesti tärkeä, se on sisältönä opetussuunnitelmissa ja oppikirjoissa. Siksi sen käyttöä ja käytännön sovelluksia kannattaa tutkia.

SAATTEEKSI

Käsillä oleva väitöskirja on pitkän ajallisen prosessin tulos, niinpä siitä kiitos kuuluu monille. Kiinnostukseni tieteen- ja teknologian historiaan ulottuu nuoruuden insinööriopintoihin, sekä edesmenneen matematiikan professori Raimo Lehden ohjaukseen. Näiden juonteiden vaikutukset näkyivät kollegoiden Pirjo Westin ja Pauli Arolan kanssa kirjoittamassani historianopiskirja Kronos-sarjassa. Luonnontieteen historian opetuksen kehittäminen sai 1990-luvulla jatkoa opettajatoverieni kanssa kehittämässä Helsingin normaalilyseon Tieteellinen maailmankuva -kurssissa. Kurssimme sai tunnustusta Suomen Akatemian Viksu – kilpailun tulosten kautta. Kiitokset siis kaikille Norssin opiskelijoille, sillä ilman noita maan mainioita norsseja, ei tätä työtä olisi olemassa. Luonnontieteiden ja humanististen aineiden yhteinen opettaminen on ollut hedelmällistä ja antanut runsaasti ideoita väitöskirjan kehittelyyn. Yhteistyöstä ja ystävydestä kiitokset Virpi Seppälä-Pekkaselle ja Timo Kärkkäiselle.

Varsinainen väitöskirjaprosessi sai alkunsa kuitenkin professori Jukka Rantalan, professori Jari Lavosen ja dosentti Jan Löfstömin johdolla. Heidän kannustuksensa ja asiantuntevan ohjauksen ansiosta olen voinut tutkia minulle henkilökohtaisesti kiinnostavaa ja tärkeää aihetta, joka on ollut suuri etuoikeus. On ollut rohkaisevaa huomata, kuinka paljon luonnontieteen historia voi yhdistää ja on yhdistänyt oppiaineita. Käytännön opettajan työssä oppiaineet toimivat usein erillään ja toistensa pyrkimyksistä tai kokeiluista tietämättä.

Tutkimukseen liittynyt työrupeama Helsingin opettajankoulutuslaitoksella, tutkimustyötä arvostavassa ja sitä kaikin tavoin tukevassa yhteisössä, oli tärkein impulssi työn valmistumiselle. Päivittäinen keskusteluyhteys Jari Salmiseen, Hannu Salmeen, Janne Säänttiin ja Sirkka Ahoseen oli monessa mielessä antoisaa. Edelleen lämpimät kiitokset esitarkastajilleni dosentti Heikki Mikkilille, dosentti Kari Sormuselle ja professori Heimo Saarikolle. Heidän ohjauksensa ja kritiikkinsä ovat auttaneet viime vaiheessa kehittämään väitöstyötä paremmaksi.

Viime vaiheessa, työn painokuntoon saattamisessa, tunsin tarvitsevani erityisen paljon apua. Ystäväni Ville Laustela, Katri Karvonen ja Taneli Nordberg tarjosivat näinä kriittisinä hetkinä auliisti apuaan. On muutamia henkilöitä, joita ilman työ ei olisi valmistunut. He ovat antaneet ehkä tietämättäänkin apua, neuvoja tai rohkaisua juuri oikeaan aikaan ja oikealla tavalla. He ovat Jukka Rantala, Kari Sormunen ja erityisesti Eeva Hagel. Kiitän heitä tästä lämpimästi. Ja edelleen Jan Löfströmin avuliaisuus, kärsivällisyys ja ystävyys on mahdollistanut tutkimuksen valmistumisen. Hänen apunsa merkitystä ei voi kirjallisessa muodossa ilmaista. Kiitos Jan! Kaikki muut huutomerkit, joita oli todella paljon, olen käsikirjoituksesta suostunut poistamaan ohjaajien pyynnöstä, tämän itsepintaisesti säilytän. Viimeinen ja suurin kiitos rakkaalle vaimolleni Pirjo Hongistolle, jonka ”säätöiltä” olen saanut runsaasti monenlaisia stipendejä ja avustuksia.

1. JOHDANTO

Tämä väitöskirja on syntynyt kahdesta käytännöllisestä lähtökohdasta. Ensinnäkin toimiessani Helsingin normaalilyseossa historian opetusharjoittelun ohjaajana ohjausryhmässäni on joka vuosi pohdittu kysymystä, *mitä* historiasta ja erityisesti luonnontieteen historiasta oikein pitää opettaa ja *millainen opetuksellinen tulkinta* valitusta historiallisesta teemasta pitäisi opiskelijoille antaa. Kun opetusharjoittelijat laativat tuntisuunnitelmia opetukseensa, lähdetään liikkeelle opetussuunnitelmista ja tutkitaan eri oppikirjojen sisältöratkaisuja. Lisäksi oppikirjojen opettajanoppaat antavat ideoita sisältöihin sekä opetustapoihin. Opetettavasta teemasta saatuaa löytyä myös opetuksen tutkijoiden artikkeleita ja opetuskokeiluja, jotka ovat oppituntien suunnittelijalle arvokas mutta vaikea lähtökohta. Usein opetuskokeilut ovat luonteeltaan teoreettisia, kun taas opetusharjoittelija ja opettaja tarvitsevat opetustyöhönsä käytännön opetusmalleja ja oppimateriaaleja, jotka ovat nopeasti ja helposti otettavissa opetuskäyttöön.

Lukion opetuksen käyttöön on saatavana runsaasti luonnontieteen historiaa koskevaa tutkimuskirjallisuutta ja oppimateriaalia. Tämä luonnontieteen historiaa koskeva materiaali ei kuitenkaan ole syntynyt historian opetuksen tarpeisiin. Sitä on kehitetty luonnontieteen opetukseen. Tuon opetuksen tutkimuksen tulokset ja oppimateriaalit on syytä siirtää myös historian opetukseen. Tämän väitöskirjan päämäärä onkin historianopetuksen oppimateriaalin ja opetuksen kehittäminen.

Toinen työn keskeinen lähtökohta juontaa 1990-luvun puoliväliin. Tuolloin lukion vastikään uudistetut opetussuunnitelman perusteet vaativat uusien oppikirjojen kirjoittamista. Pääsin siinä yhteydessä pohtimaan historianopetuksen sisältöongelmaa oppikirjan kirjoittajan roolissa. Jouduin kirjoittamaan erityisesti kahden historian erityisalueen, tekniikan- ja luonnontieteen historian, sisältöjä. Opetusmateriaalin kirjoittajalle on tarjolla rajaton määrä tutkimuksia historian eri aloilta, mutta toisaalta hänellä on käytettäväänään rajallinen määrä oppikirjan sivuja. Sisältöjen valinta ja historiallisten tulkintojen esittäminen on oppikirjan kirjoittajalle haastava ongelma. Historian oppikirjan tavoite ei ole kouluttaa opiskelijaa historian tutkijaksi. Luonnontieteen historian osalta lukiolaisen ei ole katsottu tarvitsevan tietoa siitä, mitkä ovat jonkin tieteenalan nykyhetken viimeisimmät tutkimustulokset, ajankohtaisimmat tutkimusaiheet tai tutkimusmenetelmät vaan on katsottu tärkeäksi kertoa luonnontieteen historiasta kansalaissivistyksen kannalta keskeisiä piirteitä.¹

Luonnontieteen historian opetuksen tutkimusta ovat tehneet erityisesti luonnontieteen opetuksen tutkijat. Luonnontieteen opetuksen tutkimuksen väittäminen on, että nykyaikainen kansalaissivistys vaatii yhä enemmän tietoa luonnontieteen yleisestä luonteesta. Siitä käytetään englannin kielellä termiä *Nature of Science (NOS)*. Suomenkielisessä kirjallisuudessa käytetään termiä *tieteen luonteen opetus*.² Tieteen luonteen opetus eli NOS-opetus on yritys vastata kysymykseen, mitä luonnontieteestä pitäisi opettaa opiskelijoille. Käsite NOS kytkeytyy

¹ Tämä tutkimushaara on nimeltään *science education* -tutkimus. *Science* tarkoittaa tässä tutkimuksessa *luonnontiedettä*. Termi ”*history of science*” rajataan tässä tutkimuksessa luonnontieteen historiaksi.

² Kari Sormunen kääntää väitöskirjassaan (2004) käsitteen *Nature of Science (NOS)* *tieteen luonteeksi*.

luonnontieteen opetuksen uudistushankkeisiin, jotka ovat tuoneet tieteenfilosofian, luonnon-tieteen historian ja tieteesosiologian luonnontieteen opetukseen.³

Luonnontieteen historian opetuskokeilut edustavat kahta opetuksen tutkimushaaraa, Science, Technology and Society (STS⁴) ja History and Philosophy of Science (HPS⁵) -opetuskokeiluja. Näiden tutkimushaarojen näkökulmat luonnontieteen historiaan ovat erilai-set: HPS painottaa luonnontieteen historian yhteyttä luonnontieteen teorioiden muutoksen tutkimukseen, ja sillä on läheinen suhde tieteenfilosofiaan. STS taas korostaa luonnontieteen yhteiskunnallista luonnetta, ja sillä on läheinen suhde tieteesosiologiaan.⁶ Tämän väitöstut-kimuksen yksi lähtökohta on analysoida, miten näiden kahden tutkimushaaran piirissä kehi-tellyt opetuskokeilut ovat siirrettävissä historian opetukseen.

Tieteen luonteen (NOS) opetukseen liittyvien näkökulmien lähtökohdat voidaan löytää luon-nontieteen historian kehityksestä 1930-luvulta lähtien. Tällöin perinteinen filosofiseen käsite-analyysiin perustuva internalistinen luonnontieteen historian tutkimus sai kilpailijakseen tieteesosiologiaan painottuvan eksternalistisen tutkimussuunnan. Näiden tutkimusnäkökul-mien vaikutukset näkyvät selkeinä luonnontieteen historian opetussuuntauksissa ja myös niiden välisissä opetuksellisissa näkemyseroissa.

Luonnontieteen historiaa on käytetty sekä HPS- että STS-perinteen opetuskokeiluissa. Kol-mantena usein käytettynä opetusmetodina tieteen luonteen opetuskokeiluissa ovat luonnontie-teen historian kertomukset eli narratiivit. Tämän väitöskirjan sisältämän kehittämistutkimuk-sen tavoitteena on selvittää, mitkä ovat pätevän luonnontieteen historian opetuksen päämää-rät, ja kehittää sopivia luonnontieteen historian kertomuksia tukemaan näiden päämäärien saavuttamista. Työn suuri kysymys on siis, miten lukion opetukseen voidaan siirtää teemoja ja kertomuksia, jotka tukevat ajanmukaisen luonnontieteen historianopetuksen päämääriä, siten kuin ne voidaan identifioida luonnontieteen historian opetuskokeilujen ja opetustutki-muksen perinteessä. Tämän tarkastelun pohjalta on selvitettävä myös, millainen on luonnon-tieteen historian oma perinne, eli kartoitettava, millaisten historiallisten kerrostumien läsnäolo historian opetuskokeiluissa on siltä osin otettava huomioon.

³ Lyhyt ajantasainen katsaus tähän tutkimukseen on Michael Clough, *The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life in Post-Secondary Science*, Science & Education 2011.

⁴ STS-tutkimus syntyi 1960-luvulla akateemisena tieteentutkimusliikkeenä, joka korosti luonnontieteen yhteiskunnal-lisuutta. 1980-luvulla siitä tuli myös opetusliike, uranuurtajina olivat John Ziman ja Joan Solomon. STS kirjainyhdis-telmä tässä tutkimuksessa viittaa tähän opetusliikkeeseen.

⁵ HPS-opetus perustuu tieteenfilosofiseen virtaukseen, joka sekin on nimeltään HPS. Larry Laudanin mukaan luon-nontieteen historia ja tieteenfilosofia olivat 1830–1930 kehittyneet rintarinnan toisiinsa kiinnittyneinä. Luonnontie-teen historian tutkijat olivat tieteenfilosofoja ja päinvastoin. Laudan nimeää seuraavat HPS-tutkijat: William Whe-well, John Herchel, Augustus De Morgan, Auguste Comte, Ernst Mach, Pierre Duhem, E. A. Burt, Arthur Hanne-quin, Kurt Lasswitz, Paul Tannery, Ernst Cassirer ja Alexandre Koyré. Tämä aika oli ensimmäinen HPS:n kukoistus-kausi. Looginen positivismi sai aikaan katkon. 1960-luvulla alkoi uusi HPS: n kukoistus. Larry Laudan, *The History and Philosophy of Science*, teoksessa *Companion to the History of Modern Science*, toim. R.C. Olby, G.N. Cantor, J.R.R. Christie ja M.J.S. Hodge 1990, s. 47–48. HPS-opetusliike syntyi 1980-luvulla. Sen keskeinen julkaisu on *Science and Education* -lehti. HPS viittaa tässä tutkimuksessa tähän opetusliikkeeseen.

⁶ Luonnontieteen historian internalistinen tutkimuslinja on kiinnostunut erityisesti käsitteiden ja teorioiden muutok-sesta. Länsimaisen tieteen erityispiirteensä pidetään kehitystä kohti yhä tarkempia ja selittävämpiä teorioita. Tämä erityispiirre on rajannut luonnontieteen historian tutkimuskohteen. HPS taas liittyy kiinteästi tähän internalistiseen tutkimusperinteeseen. 1960-luvulta lähtien myös luonnontiedettä alettiin pitää yhä enenevässä määrin kollektiivisena, sosiaalisena ilmiönä ja alettiin tutkia sen yhteisöllisiä piirteitä sekä sen yhteyksiä vallankäyttöön ja tekniikkaan. Internalistisen tutkimuksen näkökulmarajausta pidettiin kestäättömänä.

Kehittämistä varten valittiin yksi lukion historian kurssi, jonka opetussuunnitelmaan sisältyy luonnontieteen historia. Lukion historian pakollinen kurssi *Eurooppalainen ihminen* sisältää muun muassa luonnontieteen historian teemoja. Tässä tutkimuksessa analysoidaan opetussuunnitelman kurssikuvaus kolmen opetuksellisen kehittämisnäkökulman (niitä kutsutaan tässä tutkimuksessa opetuspilareiksi) kannalta ja tutkitaan opetussuunnitelman tarjoamat mahdollisuudet luonnontieteen historian sisältöjen opetuksen kehittämiseen kurssin puitteissa. Tämän jälkeen analysoidaan samojen opetuspilareiden näkökulmasta *Eurooppalainen ihminen*-kurssin oppikirjoissa näkyviä opetussuunnitelman kurssikuvauksen käytännön sisältösovelluksia. Sisällön analyysin pohjalta tehdään ehdotus kurssin kehittämiseksi sekä hahmotellaan luonnontieteen historian sisällön kehittämisen suuntaviivat muiden lukion historian kursien kannalta.

Tämän väitöstutkimuksen tavoitteena on kehittää lukion historian opetusta luonnontieteen historian osalta. Tällaista käytännön opetuksen kehittämiseen suuntautuvaa tutkimusta kutsutaan Design Based Research -tutkimukseksi tai lyhyesti design-tutkimukseksi eli kehittämis-tutkimukseksi. Kehittämistutkimuksissa pyritään jäsentämään teoreettisesti ja käsitteellisesti jokin opetussuunnitelmien tai opetuksen tasolla oleva puute tai ongelma sekä löytämään sille ratkaisu. Tällainen kehittämis-tutkimus on lähtökohdiltaan pragmaattista. Osmo Kivinen ja Tero Piironen kuvaavat pragmaattista tutkimusasennetta (metodologinen relationismi) seuraavasti: ”Metodologinen relationismi tarjoaa käsitteelliset välineet ymmärtää itse tiedonhankinta (tutkimus) ja sen kohteet, ilman että täytyy sitoutua ontologiaan, joka ymmärrettäisiin jonkinlaiseksi etukäteen valmiiksi kalustetuksi todellisuudeksi traditionaalisen metafysiikan tapaan... (pragmatisti) näkee itsensä yhtenä tieteen kentän toimijoista: hän on etsimässä käytökelpoisia ratkaisuja tutkimusongelmiin. Nämä voivat nousta yhtä hyvin tieteenalan perinteestä, kuin käytännön elämän ongelmistakin, ja ratkaisujen etsiminen tapahtuu jonkin kielen tarjoaman viitekehyksen varassa.”⁷ Tämä tutkimus ei sinällään tavoittele ”totuutta” vaan pyrkii ratkomaan tai ainakin selkiyttämään opetukseen ja oppimiseen liittyviä käytännön ongelmia.

Tässä tutkimuksessa pyritään kehittämään parempia sisältöjä ja kuvauksia luonnontieteen historian opetukseen. Suuntaviivoja sisältöihin etsitään sekä opetusyhteisöstä että luonnontieteen historian tutkimusyhteisöstä. Uusia opetusratkaisuja koetellaan testaamalla niitä autenttiossa opetustilanteessa. Tavoitteena on luoda käsitys siitä, mitkä ovat luonnontieteen historian opetuksen päämäärät sekä miten opetuksen päämääriin voitaisiin päästä. Samanaikaisesti visionäärisen analyysin kanssa kehitään (design) käytännön opetukseen artefaktia, joka tulisi opetusmateriaalina antamaan opiskelijoille parempia oppimisen mahdollisuuksia ja myös parantamaan opettajien opetusta. Kehittämistutkimuksessa ei ole kysymys jonkin tieteenalan tutkimuksesta vaan opetuksesta.

⁷ Osmo Kivinen ja Tero Piironen, Kehollisesta osaamisesta kielelliseen tietoon, teoksessa Erkki Kilpinen, Osmo Kivinen ja Sami Pihlström (toim.) 2008, s.186.

Tutkimuksen eteneminen

Tutkimus aloitetaan hyvin yleisestä opetussuunnitelmanäkökulmasta, jonka tarkoituksena on selvittää, mitä yleisiä päämääriä luonnontieteen historian opetuksella on. Tutkimus etenee konkreettisiin sisältöehdotuksiin ja johtaa kurssin muokkaamiseen ja lopulta sen opettamiseen.

A) Yleinen opetussuunnitelmanäkökulma luonnontieteen historian opiskeluun

Luonnontieteen opetuksen tavoitteeksi ovat tulleet tieteen luonteen opetuksen (NOS-opetus) myötä opiskelijoiden luonnontieteellinen yleissivistys, ongelmanratkaisutaidot, realistinen käsitys luonnontieteestä ja kyky arvioida kansalaisen näkökulmasta luonnontiedettä koskevia poliittisia päätöksiä. Keskeisimpänä sisältönä luonnontieteen luonteen opetuksessa pidetään luonnontieteen historiaa. NOS-opetuksen luonnontieteen historian sisällöiksi hahmottuu kolme erilaista opetuksellista komponenttia:

- luonnontieteen historiallinen internalismi, joka keskittyy opettamaan luonnontieteen historian teorioissa tapahtuneita muutoksia. Opetuksessa internalismi liittyy opetuskokeilujen HPS-perinteeseen.⁸
- luonnontieteen historiallinen eksternalismi, joka korostaa luonnontieteen historian sosiaalisia ulottuvuuksia, ja joka liittyy opetuskokeilujen STS-perinteeseen.
- narratiivinen luonnontieteen historia, jossa korostuu kertomus opetusmuotona.

B) Luonnontieteen historian ammattitutkijoiden kannanotot luonnontieteen historian opetukseen

Luonnontieteen opetuksen tutkijat kääntyvät luonnontieteen historian sisältösovellutuksissa luonnontieteen historian ammattitutkijoiden puoleen etsiessään apua luonnontieteen historian opetuksen sisältöongelmiin. Tämä opetukseen kiinteästi liittyvä luonnontieteen historian keskustelu on edennyt seuraavalla tavalla:

b1. Luonnontieteen historian tutkimusyhteisö on käynyt keskustelua, millainen opiskelijalle tarjottavan luonnontieteen historian yleiskuvan tulisi olla. Tätä yleisellä tasolla käytävää keskustelua kutsutaan ”Big Picture” -keskusteluksi eli luonnontieteen historian yleiskuvakeskusteluksi. Metodisesti vanha luonnontieteen historian jaottelu tieteensisäisten ja -ulkoisten kysymysten tarkasteluun näkyy selkeästi HPS- ja STS-opetuskokeilujen välillä. Nytemmin tämä jaottelu hahmottuu yleiskuvakeskustelussa uudella tavalla: lähinnä kysytään, onko luonnontieteen historian perinteinen tieteen vallankumousta⁹ kuvaava *modernin tarina*¹⁰ enää

⁸ Ajantasainen yhteenveto julkaistuista tutkimuksista ja tilastot eri luonnontieteen opetuksen tutkimuslehdissä julkaistuista HPS-artikkeleista Elder Sales Teixeira, Ileana Maria Greca ja Olival Freiren Jr. artikkelissa The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions, Science & Education 2012, s. 771–796

⁹ Historian oppikirjoissa käytetään luonnontieteen vallankumouksesta vakiintunutta käsitettä ”tieteen vallankumous”. Sisällöllisesti luonnontieteen historian vallankumous olisi tarkempi. Kun tieteen vallankumoukseen viitataan tässä tutkimuksessa käytetään jo vakiintunutta epätarkempaa käsitettä.

ajankohtainen?¹¹ Jos on, mitä siitä tulisi opettaa opiskelijoille? Toisaalta kysytään myös, mitä luonnontieteen historian eksternalistisista tekijöistä tulee opettaa kansalaisille.

b2. Luonnontieteen historian tutkijat ovat pyrkineet vastaamaan luonnontieteen historian yleiskuvaongelmaan käytännön tasolla kirjoittamalla luonnontieteen historian yleisesityksiä. Nämä yleisesitykset ovat aivan keskeisiä luonnontieteen opetustutkijoille, oppikirjan kirjoittajille sekä käytännön opettajille, sillä luonnontieteen historian erityistutkimukset ovat nykyisin niin teknisiä, että niiden tutkimustulosten siirtäminen opetukseen on tieteenalan ulkopuolisille vaikeaa. Lisäksi opetustutkijan on mahdoton arvioida erityistutkimuksen merkitystä luonnontieteen historian kokonaisuuden kannalta. Vasta kun erityistutkimuksen tulokset ovat siirtyneet luonnontieteen historian yleiskuvakirjallisuuteen, ne ovat kypsiä siirrettäväksi perustason opetukseen.

Luonnontieteen historian yleisteoksissa hahmottuu niiden taustalla oleva jako internalistiseen ja eksternalistiseen luonnontieteen historian käsittelyyn. Tämä jako toimii pohjana kahdelle ensimmäiselle opetus pilarille (internalismi ja eksternalismi). Narratiivien merkitystä Big Picture -keskustelussa ei ole käsitelty. Toisaalta henkilöhistoriat ovat luonnontieteen historian levinnein kirjallisuuden muoto. Tämän vuoksi henkilöhistoria on myös herättänyt vilkasta keskustelua alan tutkijoiden keskuudessa. Yleisesti hyväksytään, että historiallinen kertomus on kanava suuren yleisön ja opiskelijoiden tietoisuuteen. Tutkijat hyväksyvät henkilöhistorian yleisenä *kulttuurihistoriana*. Myyttistä henkilöhistoriaa ei luonnontieteen historian tutkimusyhteisö hyväksy.

C) Luonnontieteen historian kolmen kehittämissälinan tieteenfilosofiset ja tieteesosologiset lähtökohdat

Miten voitaisiin välttää myyttisiä tulkintoja luonnontieteen historiasta ja valita opetuksellisesti hyväksyttävistä teemoista ja tarinoista? Luonnontieteen historian opetuskokeilujen laatijan ja opetusmateriaalin kirjoittajan on pyrittävä pureutumaan vielä syvemmälle luonnontieteen historian yleiskuvatasoon taakse. Molemmat luonnontieteen historian opetuskokeilujen suunnaukset nojautuvat voimakkaasti luonnontieteen historian perinteisiin tutkimusnäkökulmiin: HPS internalistiseen ja STS eksternalistiseen tulkintaan luonnontieteen historiasta.

Internalistisen ja eksternalistisen tutkimusperinteiden erilaiset tieteenfilosofiset lähtökohdat näkyvät selkeästi opetuskeskustelussa. Nämä lähtökohdat opetuksen kehittäjän ja oppimateriaalin kirjoittajan tulisi tuntea, sillä nuo erot tieteenfilosofisissa ja -sosiologisissa tulkinnoissa vaikuttavat opetukseen ja sen sisältöön. Opettaja ja oppimateriaalin kirjoittaja tarvitsee tietoa näiden virtausten syntyhistoriasta ja tieteenfilosofisista lähtökohdista: Miksi HPS-tulkintaa vieläkin käytetään opetuksessa? Miksi opetustutkimuksissa viitataan valistuksen kertomuk-

¹⁰ Modernilla tarinalla tarkoitetaan kertomusta uniikista tieteen vallankumouksesta luonnontieteissä 1500–1700. Käsitteen tieteen vallankumouksen keskeisestä asemasta historianopiskelussa saa Marcus Hellyerin toimittamasta esseekokoelmasta *The Scientific Revolution* (2003). Modernista kertomuksesta on monia versioita ja varhaisin niistä on valistuksen suuri kertomus, joka korostaa vallankumouksen metodista ja empirististä piirrettä. Nykyisin korostetaan tieteen vallankumouksen kompleksisuutta, sen yhteisöllisyyttä ja yhteiskunnallisuutta, kieltämättä klassisen mekaniikan ja astronomian kehityksen historiallista ainutlaatuisuutta. Marcus Hellyer 2003, s.7-13.

¹¹ Kaksi erilaista kannanottoa modernin tarinaan luonnontieteen historiasta löytyy teoksista *The Oxford Companion to the Modern Science*, toim. John Heilbron 2003 ja *The Cambridge History of Science*, osa 5, *The Early Modern Science*, toim. Kathrine Park ja Lorraine Daston 2006.

seen, positivismiin, kontekstuaalisuuteen, Comteen, Machiin, Koyréhen ja Kuhniin? Mitä STS-opetuksessa tarkoitetaan marxilaisuudella, mertonilaisuudella, tieteesosiologialla, vahvalla ohjelmalla, ”Big Science” -tutkimuksella tai monikulttuurisuudella luonnontieteessä? Miten näitä näkökulmia sovelletaan opetukseen ja mitä opetuksellista hyötyä niistä on?

Usein luonnontieteen opetuksenkehittäjät ovat käyttäneet vain jompaakumpaa luonnontieteen historian opetuksen perinnettä opetuksen kehittämiseen. Opetuksen kehittäjän ja oppimateriaalin kirjoittajan on hyödyllistä tuntea kummankin perinteen näkökulmat, jotta hän ymmärtää luonnontieteen historian yleisesitysten sisältövalinnat ja osaa tulkita näitä sisältövalintoja.

D) Lukion historian opetuksen kehittämis ehdotus

Tutkimuksen viimeinen elementti on käytännöllinen. Siinä tutkitaan kolmea opetuspilaria ja niiden opetuksellisia lähtökohtia, sekä verrataan tuloksia yhden lukion kurssin *opetussuunnitelmaan*, ja opetussuunnitelmaa kuvaaviin *oppikirjoihin*. Tämän pohjalta tehdään konkreettinen suunnitelma kyseisen kurssin kehittämiseksi ja myös toteutetaan se opetuksessa. Esikuvana tässä tutkimusvaiheessa käytetään luonnontieteen opetustutkimuksessa paljon käytettyä Design Based Research -tutkimusta eli kehittämistutkimusta. Kehittämistutkimuksessa pyritään pragmaattisesta viitekehyksestä lähestymään opetuksen tutkimuksen ongelmia ja kehittämään niihin konkreettisia opetukseen soveltuvia vastauksia. Eräs tällainen tutkimusongelma on väitöskirjan teema: luonnontieteen historian opetuksen mahdollisuudet suomalaisessa lukio-opetuksessa. Luonnontieteen historia on opetuksellisesti tärkeä: se on sisältönä opetussuunnitelmissa ja oppikirjoissa. Siksi sen käyttöä ja käytännön sovelluksia kannattaa tutkia.

2. LUONNONTIETEEN HISTORIA OSANA LUONNONTIETEEN OPETUSTA

2.1 LUONNONTIETEEN OPETUS JA POSITIVISMIN KRITIIKKI

Luonnontieteen opetuksessa luonnontieteen historialla on viime vuosikymmeninä ollut erityisasema. Erityisen paljon luonnontieteen historian opetuskokeiluja on tehty 1990-luvulta lähtien.¹² Luonnontieteen historian opetuskokeilujen tulokset näkyvät koulutuksen kaikilla tasoilla: koulutuksen filosofisissa pohdintoissa, opetussuunnitelmissa, oppikirjoissa ja erityisesti luonnontieteen opetustutkimuksessa. Luonnontieteen historian kokeiluista on syntynyt paljon opetuskokemusta ja opetusmateriaalia.

Luonnontieteen historia on toiminut luonnontieteen opetuksen yhteyssiltana tieteenfilosofi-
aan. Tämä yhteys alkoi kuitenkin hiipua, kun 1950-luvulta lähtien luonnontieteiden opetuksen tieteenfilosofiseksi perustaksi tuli positivistinen tieteenfilosofia.¹³ Sen pohjalta pyrittiin luonnontieteen opetukseen, jossa oppilaita ohjataan havaintojen tekoon ja oppimaan havaintojen pohjalta luonnontieteitä: oppilas päätelee induktiivisesti ja ”löytää” luonnontieteen käsitteitä (discovery learning).

Samaan aikaan kun positivismi pyrki eroon metafysiikasta, myös luonnontieteen opetus pyrki irtautumaan siitä. Samalla katkesi aiemmin vallinnut luonnontieteen opetuksen yhteys luonnontieteen historiaan. Tätä katkosta monet luonnontieteen opetuksen tutkijat pitävät vahingollisena, koska samalla katkesi luonnontieteen opetuksen yhteys humanistiseen kasvatuserinteeseen.¹⁴ Tässä perinteessä on katsottu, että tieto on aina inhimillistä ja sillä on yhteiskun-

¹² Elder Sales Teixeira, Ileana Maria Greca ja Olival Freire Jr., *The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions*, Science & Education 2012.

¹³ Positivismilla tarkoitetaan toisen maailmansodan jälkeen aina 1980-luvulle asti vallalla ollutta tieteenfilosofiaa. Se ei ole ollut sisäisesti yhtenäinen suuntaus. Luonnontieteen historian opetustutkija Michael R. Matthews (2004) mukaan positivismin keskeisiä piirteitä ovat seuraavat oletukset: a. Tiede pyrkii saavuttamaan yhä totuudenmukaisempaa tietoa. b. Yhteiskunnan maailmankäsitys ja yksilön henkilökohtainen maailmankäsitys ovat rakentuneet tästä tiedosta. c. Tieteen totuudellisuuden ratkaisee viime kädessä empiirinen testaus. d. Lauseet, jotka ovat ei-empiirisiä (teologiset ja metafysiset) ovat merkityksellisiä, mutta eivät tosia tai epätosia. e. Tieteen päämäärä on totuus. Tiede on yhtenäinen, vaikka eri tieteenalat käyttävätkin erilaisia tutkimustapoja, ja on olemassa yhtenäinen tieteellinen tutkimusmetodologia. f. Tieteen metodi on rationaalinen. g. Tiede on universaalialia. Ei ole olemassa ”paikallisia tieteitä”. Tieteen totuudet ovat tosia myös eri kulttuureissa. h. Tiede edellyttää naturalistista (ei kuitenkaan materialistista) maailmankuvaa. i. Naturalistinen maailmankuva on ainoa totuudellinen maailmankuva. Transsendentaaliset, uskonnolliset ja metafysiset maailmankuvat ovat virheellisiä. j. Tiede on osa valistuksen perinnettä ja sillä on ollut positiivinen vaikutus maailmaan ja siksi sitä on puolustettava ja levitettävä. Matthews Editorial, Science & Education 2004, s.4.

¹⁴ Michael R. Matthews (2009) kuvaa menetettyä opetuksen osaa käsitteellä ”luonnontieteen liberaali traditio”: ”liberaali traditio... haluaa välittää lapsille kulttuurinsa parhaan perinteen, joka sisältää luonnontieteen akateemiset oppialat, niin että oppilaat ymmärtävät niiden merkityksen, tietävät jotain niiden sisällöistä ja metodologiasta, sekä niiden käyttämisestä päättelystä. Heidän olisi myös saatava tietää luonnontieteiden historiasta ja myös luonnontieteiden rajoituksista. Opiskelijoiden olisi saatava tietää *luonnontieteen suhteesta etiikkaan, uskontoon, politiikkaan ja talouteen*. Liberaalin tradition on ylitettävä tieteessä vallitseva yleinen hajanaisuus. Tähän projektiin tarvitaan *tieteenfilosofiaa ja luonnontieteen historiaa*.” (kursivointi LH) Katso myös Michael R. Matthews, *Teaching the Philosophical and Worldview Components of Science*, Science & Education 2009, s. 722. Myös Robert N. Carson, *Science and the Ideals of Liberal Education*, Science & Education 1997 ja Robert N. Carson, *Teaching Cultural History from*

nalliset ulottuvuutensa. 1960-luvulta lähtien oli havaittavissa toinen luonnontieteen kannalta huolestuttava tendenssi luonnontieteen koulutuksessa: suosio opiskella luonnontieteitä alkoi teollistuneissa maissa vähetä opiskelijoiden piirissä. Opiskelijoiden ”paras aines” ei enää kiinnostunut luonnontieteistä.¹⁵

Positiivistisen, sisältöjä ja metodia korostavan, luonnontieteen opetuksen alta oli hävinnyt tieteenfilosofinen pohja jo 1960-luvulla. Thomas Kuhnin suosittu kirja *The Structures of Scientific Revolutions* käsitykset luonnontieteen tutkimuksesta ja luonnontieteen opettamisesta vaikuttivat uuden kriittisen tieteentutkimuksen syntymiseen.¹⁶ Tieteenhistoria, tieteen sosiologia ja tieteenfilosofian naturalistinen koulukunta kyseenalaistivat kaikki positivismin keskeiset teesit.¹⁷

Yksi naturalistisen kritiikin tärkeä implikaatio oli käsitteen ”tiede” yhtenäisyyden häviäminen. Tieteellä tarkoitettiin nyt perheyhtäläisyyskäsitettä.¹⁸ Sen mukaan on olemassa monia ”tieteitä” sen mukaan, mitä ovat käsitteen erilaiset käyttökontekstit kielessä. ”Tieteellä” tai ”luonnontieteillä” ei ollut yksiselitteistä olemusta. Historian tutkimuksessa Wittgensteinin perheyhtäläisyyskäsite on helppo hyväksyä, koska käsitteet ”tiede” tai ”luonnontiede” ovat historian eri aikakausina olleet erilaisia merkitykseltään: 1600-luvun luonnonfilosofia ei ole 1900-luvun fysiikkaa eikä 1600-luvun luonnonhistoria ole 1900-luvun biologiaa. Mikään olemuksellinen juonne ei yhdistä erilaisia tietokäsityksiä.¹⁹ Tieto on aina tulkittava sen omassa historiallisessa kontekstissään. Positiivistisesti suuntautuneen filosofian mukaan oli taas olemassa selkeästi määriteltävä luonnontieteen sisältö, joka tuli koulussa opettaa kansalaisille. Jos naturalistinen tieteenfilosofia oli oikeassa siinä, että luonnontiedettä ei voitu määritellä, mitä opiskelijoille tai kansalaisille tulisi opettaa tieteestä tai erityisesti luonnontieteestä?

Primary Events, Science & Education 2004, sekä Kristine Hays Lynning, Portraying Science as Humanism – A Historical Case Study of Cultural Boundary Work from the Dawn of the ‘Atomic Age’, Science & Education 2006.

¹⁵ Jonathan Osbornen artikkeli *Attitudes towards science: a review of the literature and its implications*, International Journal of Science Education, 2003a on yhteenveto oppilaiden asenteiden muutoksesta luonnontieteitä kohtaan 40 viime vuoden kuluessa. Osbornen tutkimusten mukaan tulos on ollut aina sama trendi: luonnontieteen suosion lasku. Katso myös Michael P. Clough, *The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life in Post-Secondary Science Education*, Science & Education 2012, s.702.

¹⁶ Peter J. Westwick, Science studies *The Oxford Companion to the History of Modern Science*, ed. J. Heilbron 2003, s. 738.

¹⁷ Naturalismin synnystä Petri Ylikoski, 1995. Kirjassa *Tiede tutkimuskohteena* (2004) Kiikeri ja Ylikoski määrittelevät naturalismista syntyneen monitieteisen tutkimushankkeen ja antavat sille suomalaisiksi nimeksi *tiedetutkimus*. Sen taustana ovat muun muassa filosofia, historia, kirjallisuudentutkimus, kirjastotiede, kognitiotiede, kulttuuritutkimus, naistutkimus, politiikantutkimus, psykologia, sosiologia, sosiaalipsykologia ja tieteenfilosofia. Ylikoski ja Kiikeri 2004, s.9.

¹⁸ Ludwig Wittgenstein määrittelee kirjassaan *Filosofisia tutkimuksia* (1980) ”käsitteen” merkityksen sen käytöksi kielessä. Wittgenstein, 1980, s.49. Jos Wittgensteinin kielipeli määritelmä käsitteestä ”tiede” hyväksytään, ei ole yhtenäistä tiedettä. Historiantutkimuksessa tiede liitetään yleensä ongelmanratkaisuun, joka toimii luonnontieteen historian tutkimuskohteiden kriteerinä. Toisaalta luonnontieteen historian tutkimuskohteena on nykyisin laajempi tutkimusalue, ”tiedekulttuuri”.

¹⁹ Tieteenfilosofit Gürol Irzik ja Robert Nola ovat soveltaneet perheyhtäläisyyskäsitystä tieteen luonteeseen artikkeleissaan *A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education*, Science & Education 2011. Luonnontiede saa artikkelissa määritelmän: ”...science is a cognitive system or pattern of practice and thought that involves such and such activities; values and aims at such and such; produces so and so using such and such methodologies and methodological rules.” Irzik ja Nola 2011, s.605. Artikkelissa on jätetty luonnontieteen yhteiskunnalliset piirteet määritelmän ulkopuolelle, vaikka toimintamuoto (pattern of practice) viittaa selkeästi luonnontieteeseen sosiaalisena toimintana.

Positivistinen luonnontieteen opetuskäsitys lähti yhteiskunnan koulutustarpeista.²⁰ Uuden, humanismin perustuvan käsityksen keskeinen vaatimus oli, että myös luonnontieteellisen tiedon tulee olla käyttökelpoista sitä opiskelevalle yksilölle. Yksilön henkilökohtaiset tiedolliset tarpeet määrittelevät millainen tieto on hänelle käyttökelpoista. Anglosaksisessa koulutuskustelussa käytetään tätä tavoitetta ilmaisemaan käsitettä ”liberal education”, joka vastaa saksan käsitettä ”Bildung”. Sen mukaan luonnontieteen opetus ei voi perustua yhteiskunnan talouden tuotantotarpeisiin. Opetuksen on oltava hyödyllistä yksilön sivistyksellisiä tarpeita ajatellen. Luonnontieteen opetuksen on sovellettava oppilaan oman itsenäisen ajattelun pääomaksi, sekä tietoon perustuvan yhteiskuntakriittisen asenteen perustaksi.

Tanskalaisen luonnontieteen opetustutkijan Kristine Hays Lynning mukaan luonnontieteen yhteys sivistykseen kadotettiin 1950-luvulla, koska luonnontieteen opetuksen reformikeskusteluissa painotettiin voimakkaasti luonnontieteen ja tekniikan yhteyttä valtioon. Luonnontieteen ja humanismin yhteyden palauttaminen taas merkitsi Lynningin mukaan perustaa paremmalle opetussuunnitelmalle. Näin luonnontieteistä tulisi taas osa yleissivistystä ja samalla tärkeä osa maailmankuvaamme.²¹ Luonnontieteen opetustutkija Jonathan Osborne on todennut: ”On mahdotonta saada yleiskuvaa keskiaikaisen katedraalin arkkitehtuurista tutkimalla yksittäisiä tiiliä.”²² Yksittäisten luonnonlakien ja teorioiden ulkoa oppiminen on katedraalin tiilien tarkastelua. Osbornen mukaan opiskelijoiden olisi saatava luonnontieteestä käsitys sen kaikissa *oleellisissa merkityksissä*. Luonnontiedettä ei hänen mukaansa voi enää opettaa kouluissa pelkästään tieteellisen eliitin ehdoilla.²³

Luonnontieteiden opetuksen positivistista tulkintaa kritisoitiin 1980-luvulla opetustutkimuksessa. Samaan aikaan tutkimuksissa havaittiin johtavien länsimaiden kansalaisten ja opiskelijoiden olevan tietämättömiä luonnontieteen keskeisistä sisällöistä.²⁴ Luonnontieteen opetuksen ”discovery learning” -suuntauksen katsottiin epäonnistuneen. Yhdysvalloissa 1983 julkaistussa Nation at Risk -raportissa todettiin luonnontieteellisen tiedon olevan kansalaisen keskuudessa erittäin puutteellista.²⁵ Monet harhaluulot luonnontieteen luonteesta olivat ylei-

²⁰ Luonnontieteen tehostamisen tärkeä alkupiste lännessä oli kylmän sodan aikainen ns. Sputnik-shokki 1957. Neuvostoliiton lähettämä Sputnik-tekokuu kertoi Neuvostoliiton tieteen ja tekniikan edistyneisyydestä. Tämän vuoksi Yhdysvaltain ja Ison Britannian luonnontieteen opetusta tuli tehostaa. Michael S. Matthews, *Science Teaching; The Role of History and Philosophy of Science* 1994.

²¹ Kristine Hays Lynning, *Portraying Science as Humanism – A Historical Case Study of Cultural Boundary Work from the Dawn of the ‘Atomic Age’*, *Science & Education* 2006. Michael R. Matthews artikkelissaan korostaa luonnontieteen historian opiskelun merkitystä maailmankuvakäsityksen kannalta. *Teaching the Philosophical and Worldview Components of Science*, *Science & Education*, 2009. Maailmankuvan kautta luonnontiede liittyy taas yhteiskuntaan ja historiaan. Katso myös Robert N. Carson, *Science and the Idea of Liberal Education* *Science and Education*, 1997.

²² Jonathan Osborne, *Making science matter, Reconsidering Science Learning*, eds. Scanlon, Murphy, Thomas & Whitelegg, 2004, s. 41.

²³ Robert Millar ja Jonathan Osborne, *Beyond 2000: Science Education for the Future*, 1998.

²⁴ Smithin ja Scharmannin (2008) mukaan Yhdysvalloissa kansalaiset uskovat yhä kasvavassa määrin paranormaaleihin ilmiöihin, ufoihin, astrologiaan jne. Euroopan komission Eurobarometrin (2001) mukaan myös eurooppalaiset uskovat enenevästi pseudotieteellisiin ilmiöihin. Smith ja Scharmann, *A Multi-Year Program Developing an Explicit Reflective Pedagogy for Teaching Pre-service Teachers the Nature of Science by Ostention* *Science & Education* 2008, s. 219. Tällainen tietämättömyys tieteen luonteesta on heidän mukaansa demokratioiden toimivuuden kannalta vaarallista. Samasta ilmiöstä Gerald Holton 1993 ja Michael R. Matthews 1994. Ilmiöstä huolestunut kannanotto löytyy Michael R. Matthewsiltä, *Science & Education* 2009.

²⁵ Gil Drorin mukaan talouden teknistieteelliseen kehitykseen perustuva kansainvälinen kilpailu oli globalisoituvassa maailmassa tähän aikaan niin kireää, että Yhdysvaltojen pelättiin jäävän talouden kilpailussa jälkeen heikon perus-

siä myös opettajille. Arvostelijoiden mukaan maailman vaikutusvaltaisimman demokratian kansalaiset olivat siis tietämättömiä, vaikka tekivät tärkeitä koko maailmaa koskevia päätöksiä.²⁶ Yhdysvalloissa alkoi 1985 laaja koulutuksen uudistusohjelma Projekti 2061, jonka tuloksena julkaistiin vuonna 1989 raportti Science for All Americans.²⁷ Raportissa määriteltiin koulutuksen tavoitteeksi kansalaisille tieteellinen lukutaito (scientific literacy) ja asetettiin kriteerit tehokkaalle oppimiselle ja opetukselle. Raportti oli erityisen arvovaltainen, koska sen laatijana oli Yhdysvaltain liittovaltion tiedejärjestö (AAAS).

Koska Yhdysvalloissa ei ole sitovaa liittovaltion opetussuunnitelmaa, oli raportin tulos suositusluontoinen. Raportissa vaadittiin luonnontieteen opetuksen tiukkojen oppiaineraja-aitojen ylittämistä ja erityisesti kiinnittämään huomiota seuraaviin näkökohtiin:

- luonnontiede, matematiikka ja tekniikka²⁸ on nivottava yhteen,
- luonnontiede on ymmärrettävä luonteeltaan sosiaalseksi,
- käsite ”tiede” on tulkittava hyvin laajasti. Vanha rajalinja humanististen ja luonnontieteellisten aineiden välillä on häivyttävä.

Merkille pantavaa on, että raportissa tieteenfilosofia ja luonnontieteen historia ovat niiden teemojen joukossa, joita suositellaan sisällytettävän luonnontieteiden opetukseen koulussa.²⁹ Michael Matthews (1994) analyysin mukaan Projekti 2061:n sisällöstä³⁰ voidaan löytää seuraavat filosofiset perusteet:

koulutustasonsa johdosta. Drorin mukaan tietoyhteiskunnan uusissa tieteellisteknisissä ammateissa vaadittiin suurta osaamista, niinpä Yhdysvaltojen väestön koulutusta oli parannettava. Yhdysvaltain talouden kilpailijat Aasian voimakkaissa kasvukeskuksissa taas painottivat opetussuunnitelmassaan erityisesti *luonnontieteen ja tekniikan* opetusta. Dror, Science Education and Economic Development: Trends, Relationships’ and Research Agenda, Studies in Science Education 2000, s. 28.

²⁶ Michael R. Matthews mukaan Yhdysvalloissa erilaiset uskonnot ovat selvästi syrjäyttäneet yhteiskuntakeskustelussa tieteellisen rationaalisen ajattelun. Tämän vuoksi opetuksessa on korostettava luonnontieteen ja rationaalisen maailmankuvan keskinäistä suhdetta. Matthews, Teaching the Philosophical and Worldview Components of Science, Science & Education 2009.

²⁷ Periaate ”Science for All” (tiede kuuluu kaikille), asetettiin UNESCO:ssa 1983 koulutuksen yleismaailmalliseksi päämääräksi. Tämän jälkeen periaate hyväksyttiin monissa maissa opetuksen tavoitteeksi. Periaatteen soveltaminen oli kuitenkin pulmallista. Tiede tarkoitti useimmiten *luonnontiedettä*. Luonnontiede taas sisälsi useimmiten luonnontieteen opetuksessa tutkimusnäkökulman. Harvasta kansalaisesta tulee luonnontieteen aktiivitutkija, he ovat kuitenkin demokratioissa tieteen rahoituksen päättäjiä. Ihmiset tarvitsisivat luonnontieteen maailmankuvallisia sisältöjä oman maailmankuvansa rakennuspuiksi (liberaali tulkinta). Peter Fensham, School science and its problems with scientific literacy, toim. Scanlon, Murphy, P. Jeff Thomas, J. & Elisabeth Whitelegg, Reconsidering Science Learning 2004. Lyn Carterin mukaan ”tiede kuuluu kaikille” asetettiin Yhdysvalloissa tavoitteeksi vasta kylmän sodan päättymisen jälkeen. Aiemmin tieteellisteknistä koulutusta tarvitsi vain pieni eliitti. Tuosta eliitistä värvättiin tiedemiehet ja insinöörit. Lyn Carter, Globalisation and Science Education: Rethinking Science Education Reforms, Journal of Research in Science Teaching 2005, s. 568.

²⁸ John Pannabecker kritisoi Yhdysvaltain opetussuunnitelman kapeaa käsitystä teknologiasta ja sen historiasta. Tekniikka vastaa siinä ainoastaan materiaalista tekniikkaa. Teknologian yhteiskunnallishistorialliset ulottuvuudet jäivät kattamatta. Laajemman tulkinnan historialliset kertomukset voivat valaista opiskelijalle teknologian kehityksen luonnetta opetuksessa. Pannabecker, Technology Education and History: Who’s Driving? Journal of Technology Education 2004, s. 72-83.

²⁹ Michelle Klostermannin mukaan AAAS:n useista ohjeistuksista huolimatta luonnontieteen historia ei ole vieläkään saanut sijaa Yhdysvaltain opetuksessa. Syynä on, että sille ei ole opetuksessa ”aikaa”, eikä sitä ole otettu huomioon opettajakoulutuksessa. Newsletter of the History of Science Society, Tammikuu 2009, s. 1.

³⁰ Hugh G. Gauch jr. taas tiivistää AAAS:n 1989 luonnontieteen opetuksen päämäärät seuraaviin seitsemään keskeiseen periaatteeseen luonnontieteestä: realismi, maailma on muodostunut ymmärrettävästä järjestelmästä, evidenssi, logiikka, tieteen rajat, universaalius, luonnontiede on *maailmankuvamme* kannalta keskeinen rakennuspuu ja kuuluu

- Realismi. On olemassa meistä riippumaton maailma, josta voimme saada tietoa.
- Erehtyväisyys. Inhimillinen tieto on epätäydellistä, mutta korjautuvaa.
- Kestävyys. Tiede ei hylkää keskeisiä ideoitaan.
- Rationalismi. Tiede perustuu rationalismille, joka erottaa tieteen muista inhimillisistä yri-tyksistä taiteesta, uskonnosta jne.
- Metodinen pluralismi. Raportin mukaan ei ole olemassa yhtä ainoaa tieteellistä metodia. Luovuuden merkitystä korostetaan tieteellisessä prosessissa.
- Demarkationismi. Luonnontiede³¹ voidaan erottaa pseudotieteestä.
- Ennustettavuus. Teorioilla on ennustavaa voimaa.
- Objektiivisuus. Luonnontiedettä on pidetty objektiivisena tai ainakin se pyrkii vilpittömästi objektiivisuuteen.
- Maltillinen eksternalismi. Tutkimus ei koskaan tapahdu yhteiskunnallisessa tyhjiössä. Ra-portissa myönnetään luonnontieteen ulkopuolisten tekijöiden vaikutus tieteeseen.
- Etiikka vaikuttaa luonnontieteeseen kahdessa kontekstissa. Yhteiskunnalliset tekijät vai-kuttavat siihen, mitä ongelmia tieteessä tutkitaan ja millaisia tutkimusongelmia taas vältetään. Omassa tutkimuksessaan tutkijat useimmiten noudattavat korkeita tutkimuseettisiä periaatteita. Ammattinsa ulkopuolella he ovat raportin mukaan tavallisia ihmisiä.³²

Nation at Risk -dokumentin luonnontieteen opetuksen päämäärät ovat laajasti hyväksyttyjä. Luonnontieteen opetuksen tutkijat Ron Good ja James Shymansky analysoivat seuraavien luonnontieteen opetuksen dokumenttien suosituksia luonnontieteen opetuksesta: *The American Association for the Advancement of Sciences* (AAAS, 1989), *Benchmarks for Science Literacy* (1993) ja *The National Academy of Sciences* (NAS), *National Science Education Standards* (1996). Heidän analyysinsä tulos oli, että näissä suosituksissa oli päädytty kompromissiin. Ohjausdokumenteissa oli jätetty modernin ja postmodernin välinen ristiriita ratkai-semattomaksi ³³ olettaen, että opettajat voisivat opettaa rinnakkain kahta ”taistelevaa” perin-nettä. ³⁴ Modernin ja postmodernin tulkinnan käsitykset luonnontieteestä ovat synnyttäneet kiistan, jota nimitetään tieteiden sodaksi (Science Wars). Tämän sodan sivurintamaksi joutui myös luonnontieteiden opetus. Moderni ja postmoderni liittyvät myös luonnontieteen histori-an kirjoituksen kehitykseen: moderni käsitys sisältää luonnontieteen historian tulkinnan, jossa luonnontieteen kehitykselle (myös länsimaiselle teknologialle) annetaan historiankuvauksessa erityisasema (usein käytetään käsitettä länsimaisen luonnontieteen historia tai moderni luon-

liberaaliin opetukseen, joka sisältää elämän merkityksen etsimisen ja tiedon ykseyden. Gauchin luettelon mukaan luonnontieteen opetus sisältää *eettiset ja uskonnolliset* pohdinnat. Science, Worldviews, and Education, Science & Education 2006, s.8.

³¹ Tästä eteenpäin Matthews tarkoittaa luettelossa käsitteellä ”science” luonnontiedettä.

³² Michael R. Matthews, Science Teaching 1994, s. 37-40.

³³ Shymansky ja Good 2002, s.177. Good ja Shymansky analysoivat myös Benchmark-listan, ja tulos on sama. Ron Good ja James Shymansky, Nature-of-Science Literacy in Benchmarks and Standards: Postmodern/Relativist or Modern/Realist? Science & Education 2002. Koska opetustutkimuskeskusteluun ovat vakiintuneet käsiteparit *moderni ja postmoderni, relativismi ja realismi*, niitä käytetään tässä tutkimuksessa. Niillä ei tässä tutkimuksessa viitata niinkään tieteenfilosofiaan vaan erilaisiin luonnontieteen opetuskokeiluperinteisiin.

³⁴ Myös tekniikan opiskeluun annettiin Yhdysvalloissa samanlaiset normit, Standards for Technogical Literacy, 2000. John Pannepacker on analysoinut ”teknologian lukutaidon” ohjeistuksia ja löytänyt teknologian standardeista saman-laisen ristiriidan modernin ja postmodernin välillä. Tekniikan historia on tässä ohjeistuksessa ymmärretty Panne-peckerin mukaan yksinkertaisesti epähistoriallisesti. John Pannabecker, Who’s Driving? Technology Education and History, Journal of Technology Education 2004.

rontitieteen historia).³⁵ Postmoderni käsitys taas liittyy tieteensosiologian esiinmarssiin luonnontieteen historiassa ja luonnontieteen sosiaalisten piirteiden kuvaukseen. Tässä perinteessä luonnontieteen erityisasemaan opetuksessa suhtaudutaan kriittisesti. Tämä taas on lähellä eksternalistista näkemystä luonnontieteen historiasta.

James Donnelly (2002) näkee saman jännitteen myös Englannin ja Walesin opetussuunnitelman sisällöissä. Modernit ja postmodernit piirteet näkyvät tieteen luonteen ohjeiden kuvauksissa. Donnellyn mukaan Englannin ja Walesin opetussuunnitelmassa (National Curriculum for Science) on kahtalainen agenda. Ensinnäkin on vahvasti empiristinen, induktiivinen ja individualistinen käsitys luonnontieteestä. Sen mukaan tieteelliset erimielisyydet ovat seuraus puutteellisesta päättelytaidosta tai koetekniikasta.³⁶ Luonnontiede erotetaan muista maailman aktiviteeteista niitä ”paremmaksi” ja se kuvataan algoritmiseksi ja mekanistiseksi toiminnaksi. Toisaalta opetussuunnitelmassa painotetaan luonnontieteen *sosiaalisuutta* ja siihen liittyvää *kulttuuridimensiota*. Tämän käsityksen mukaan luonnontiede tulkintoineen sisältää aina inhimillisen ulottuvuuden ja siihen vaikuttavat yhteiskunnalliset ja poliittiset voimat. Tämän uuden opetusvirtauksen edustajaksi Englannissa tuli Science, Technology and Society -liike (STS-liike).

STS-liikkeen yhteiskuntaan painottuvat opetuspäämäärät kuitenkin löytyvät Joan Solomonin artikkelista *What and Why is STS* (1993). Keskeisiä teemoja luonnontieteen opetuksessa ovat edelleen monikulttuurisuus sekä luonnontieteen ja vallan välinen suhde.³⁷ STS-liikkeellä oli taustafilosofiaan uusi tieteensosiologinen tutkimussuunta. Tosiasiassa tämän liikkeen tulkintaa luonnontieteestä voidaan luonnehtia postmoderniksi. Moderni tulkinta taas sisältää luonnontieteen historiallisen tulkinnan yhdestä suuresta tieteen vallankumouksesta ja sen menestyksekkäästä leviämisestä eri tieteenaloihin. Käytännön opettajia Donnellyn mukaan huolestutti uuden opetussuunnitelman 1991 ristiriitainen sisältö ja se miten STS-opetusta tulisi käytännössä opettaa. Tämän vuoksi sisältöjä Donnellyn mukaan muutettiin.³⁸

³⁵ Luonnontieteen historioitsija J. Heilbron (2003) kirjoittaa seuraavasti: ”Western science is a uniquely powerful method of representing and exploiting natural world”, *The Oxford Dictionary of Modern History of Science*, toim. J. Heilbron 2003, s.371. Teknologian historian yhteydessä taas Robert Friedel kuvaa länsimaisen teknologian menestystä kirjassa *A Culture of Improvement, Technology of the Western Millenium 2010*, erityisesti luku *Technology and Improvement*, s.3-11.

³⁶ James Donnellyn mukaan Englannin ja Walesin opetussuunnitelmien osuus ’The Nature of Science’ tarjosi uuden käsityksen luonnontieteestä, jonka mukaan oppilaiden tulisi kehittää näkemystään siitä kuinka luonnontiede on aikojen kuluessa muuttunut...kuinka luonnontieteeseen ovat vaikuttaneet historian eri aikoina sosiaalinen, moraalinen, henkinen ja kulttuurinen konteksti. Uuden virtauksen edustajaksi Englannissa tuli opetuksessa STS -liike. *Contested terrain or unified project?* James Donnelly ’The nature of science’ in the *National Curriculum for England and Wales 2001*, s.191–193.

³⁷ Joan Solomonin mukaan luonnontieteen historiasta painotetaan erityisesti *1900-luvun luonnontiedettä*. Teemoina ovat mm. luonnontieteen yhteydet sotaan, teollisuuteen, eettisiin ratkaisuihin ja ympäristöuhkiin. Erityisesti korostetaan kansalaisen henkilökohtaista tiedon tarvetta mahdollisuutena poliittiseen *toimintaan*. Solomon *What and Why is STS*, 1993, s. 14–15.

³⁸ Donnelly 2002, s.187.

2.2 EKSURSIO: SUOMALAISEN LUKION OPETUSSUUNNITELMAN PERUSTEET 2003 JA TIETEEN LUONNE

Suomalaisesta lukion opetussuunnitelmasta 2003 (LOPS 2003) ei varsinaisesti löydy kuvauksia tieteen luonteen piirteistä. Jari Lavosen yhteenvedon perusteella voidaan sanoa, että jo 1990-luvulta lähtien luonnontiedettä koskevat muotoilut suomalaisissa opetussuunnitelmissa ovat lähestyneet NOS-teemoja, vaikkei näitä eksplisiittisesti luetellakaan.³⁹ Lukion opetussuunnitelma ei problematisoi käsitettä ”tiede” tai ”luonnontiede”, vaan siinä oletetaan, että jokaisen oppiaineen takana on tieteenala, joka vastaa opetuksen sisällöstä. LOPS 2003 sisältää samanlaisen ristiriidan, kuin Yhdysvaltain, sekä Englannin ja Walesin opetussuunnitelmat: tukeudutaan selkeästi *moderniin* käsitykseen tiedon luonteesta (NOS), mutta toisaalta annetaan opettajille opetustehtäviä, jotka ovat luonteeltaan *postmoderneja*.

Tieteen luonteen kaltaisia teemoja mainitaan eri kohdissa opetussuunnitelmaa. Esimerkiksi fysiikan opetussuunnitelmassa: ”...oppilas hahmottaa fysiikan merkityksen tieteessä, taiteessa, tekniikassa, kommunikaatiossa ja elinkeinoelämässä, sekä ihmisen arkiympäristössä...vaikuttaa aktiivisesti ja vastuullisesti terveellisen ympäristön luomiseksi...tarkastelee fysiikan merkitystä yksilön ja yhteiskunnan kannalta, sekä...sovellutusten eettiseen hallittuun käyttöön.”⁴⁰ Myöhemmin, opiskelija ymmärtää ”...fysiikan merkityksen historian eri vaiheissa ja nykyaikana.” Opetussuunnitelman mukaan lukion historian opetuksessa: ”(kurssi Eurooppalainen ihminen) tarkastelee eurooppalaisen kulttuurin keskeisiä saavutuksia, sekä eurooppalaisen ihmisen maailmankuvan muutosta ja sen taustalla vaikuttanutta tieteellistä ja aatehistoriallista kehitystä.”⁴¹

NOS-teemoissa luonnontiedettä, teknologiaa ja yhteiskuntaa ei eroteta toisistaan. Niihin laajasti viittaava osio on LOPS 2003:ssa mainittu, integroiva teema, ”teknologiakasvatus” aihekokonaisuuden ”tekniikka ja yhteiskunta” kuvauksessa. Sen tavoitteena on että opiskelija ”– osaa käyttää luonnontieteiden ja muiden tieteenalojen tietoja pohtiessaan teknologian kehittämismahdollisuuksia.

- ymmärtää ja osaa arvioida ihmisen suhdetta nykyteknologiaan sekä osaa arvioida teknologian vaikutuksia elämäntapaan, yhteiskuntaan ja luonnonympäristön tilaan.
- osaa arvioida teknologian kehittämistä ohjaavia eettisiä, taloudellisia, hyvinvointi- ja tasarvonäkökohtia sekä ottaa perustellen kantaa teknologisiin vaihtoehtoihin.
- ymmärtää teknologian ja talouden vuorovaikutusta, sekä osaa arvioida teknologisten vaihtoehtojen vaikutusta työn sisältöön ja työllistymisen.
- oppii yrittäjyyttä ja tutustuu paikalliseen työelämään.”⁴²

³⁹ Jari Lavonen, National science education standards and assessment in Finland, eds. Waddington, Nentwig and Schazell 2007, s.101-126.

⁴⁰ Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003, s.144 - 145

⁴¹ ibidem, s.178.

⁴² LOPS 2003, s.25. Tavoitteet ovat niin laajat ja tulkinnanvaraiset, että niiden käsittäminen on hyvin vaikeaa. Jari Salminen on analysoinut johtavien curriculum-tutkijoiden taustaideologioita opetussuunnitelmissa: ”Näiden taustaideologioiden keskinäinen yhteys koulujen rakenteeseen... Tietyt lähtökohdat ovat *pakostakin vastakkaisia*. Vaatimuksia jatkuvuuden v. muutoksen, yleissivistyksen v. hyödyn tai yksilökeskeisen v. sosiaalisen aspektin välillä on loogisesti, psykologisesti tai toiminnallisesti mahdoton yhdistää. Jokainen lukusuunnitelman laatija joutuu ottamaan kantaa näihin lähtökohtiin ja näin tehdessään samalla asettuu myös tietyn näkökohdan vastustajaksi.” Salminen 2002, s.23–29.

LOPS 2003:n tavoitteet sisältävät selkeästi samanlaisen modernin ja postmodernin tiedekäsityksen välisen ristiriidan,⁴³ kuin Shymansky ja Good, sekä Donnelly ovat kuvanneet. LOPS 2003 lähtökohtana on moderni käsitys luonnontieteen opetuksesta, mikä näkyy fysiikan ja historian osuudessa. Teknologiaosuudessa taas heijastuu postmoderni käsitys luonnontieteestä ja oppimisesta. Postmodernit käsitykset taas ovat ristiriidassa modernin kanssa seuraavilta osin:

- teknologia ja luonnontieteellinen tieto ovat lokaalia, paikallista – ei universaalia, kuten lukion opetussuunnitelmassa oletetaan,
- jokaisella kulttuurilla oma teknologiansa,
- teknologia on aina kulttuurisidonnaista,
- teknologia on osa globaalia riistojärjestelmää,
- teknologia on sukupuolisidonnaista,
- teknologia heijastuu ajatteluun (teknologian rinnalle voidaan lisätä aina luonnontiede),
- teknologia ja luonnontiede ovat sosiaalisesti konstruoituja,
- luonnontiedettä ja teknologiaa ei voi erottaa toisistaan, vaan ne muodostavat eri historiallisina aikoina yhteenkietoutuneen kokonaisuuden.

LOPS 2003:a vaivaa sama ongelma, jonka John Pannapecker löysi Yhdysvaltain AAAS 1989 suosituksissa ”teknologian lukutaito” -käsitteestä: käsitys luonnontieteen ja teknologian historiasta on liian yksinkertaistettu.⁴⁴ Teknologiaa ei ymmärretä sosiaalisesti konstruktioiksi, vaan keksijöiden innovaatioiden sarjaksi. Sekä kansainväliset opetussuunnitelmat että suomalaisen lukion opetussuunnitelma tarjoavat sanamuodoillaan mahdollisuuden luonnontieteen historian ja teknologian historian opetukseen. Luonnontieteen historia nähdään niissä mahdollisuutena syventää opiskelijoiden käsityksiä luonnontieteestä ja luonnontieteen historia luo sillan humanistisiin aineisiin sekä antaa mahdollisuuden luonnontieteen kriittiseen tarkasteluun.

2.3 NOS-OPETUKSEN TAVOITTEET LEVIÄVÄT HITAASTI KÄYTÄNNÖN OPETUKSEEN

Kuinka uudet tieteen luonnetta valaisevat tulkinnat luonnontieteestä ovat levinneet oppikirjoihin ja kouluopetukseen? Hsianchi Wang ja William Schmidt julkaisivat vuonna 2001 Science Education lehdessä neljästäkymmenestä TIMMS (Trends in International Mathematics and Science Study) -tutkimukseen osallistuneesta maasta yhteenvedon, jossa selvitettiin, kuinka paljon luonnontieteen historian opetusta, teknologiaopetusta, tieteensosiologiaa ja tieteen luonnetta kuvaavia teemoja (NOS-teemoja) on sisällytetty eri maissa koulutuksen seuraaville tasoille:

⁴³ Suomen Opetushallituksen julkaisema Tiede ja yhteiskunta raportti 2003 käsittelee ”tiedekasvatusta ja koulua” (tiedekasvatuksella tarkoitetaan luultavasti termiä science education) Suomessa ja siinä todetaan, että tiedekasvatuksen perusta annetaan kouluissa kaikilla kouluasteilla ”*läpäisevänä tiedekasvatuksena*”. Raportissa todetaan, että ”oleellisia tiedekasvatuksen kannalta ovat eri kouluasteiden opetussuunnitelmat, oppimateriaalit, opetusmenetelmät sekä perus- ja täydennyskoulutus.” s.16.

⁴⁴ John Pannabeckerin mukaan AAAS:n teknologiaopetuksen suosituksissa kirjoitetaan konstruktivistisista tavoitteista ja toisaalta viitataan naiviin teknologian historian tulkintaan, joka on sekoitus myyttistä ja vanhentunutta historiallista tietoa. Tulkinnan pohjana Pannabeckerin mukaan on teknologian amerikkalais-isänmaallinen tulkinta: ”Teollinen vallankumous on Yhdysvaltojen johtajuuden näytös maailmassa, sen tähtinäyttelijät ovat Eli Whitney, joka keksi vaihto-osajärjestelmän, sekä Henry Ford, joka kehitti liukuhihnan”. Pannabecker 2004, s. 87.

1. kasvatusviranomaisten raportteihin
2. opetussuunnitelmiin
3. oppikirjojen sisältöihin ja
4. opettajien opetustyöhön

Eri maiden opetussuunnitelmien teksteissä NOS-teemoja esiintyy paljon. Yleisesti voidaan sanoa, että luonnontieteen historialliset ja yhteiskunnalliset merkitykset tunnustetaan opetussuunnitelmissa laajasti. Oppikirjoissa näiden NOS-teemojen esiintyminen on jo vähäisempää. Käytännön opetuksessa tieteen luonnetta tarkastellaan vähiten. Puolessa TIMMS-maista ei tällaista opetusta järjestetty. Erillistä tieteen luonnetta opetettiin erityisesti Ranskassa, Yhdysvalloissa, Filippiineillä ja Portugalissa.⁴⁵

Luonnontieteen oppikirjoissa edelläkävijöinä NOS-sisältöjen suhteen olivat Kanada ja USA, joissa tieteen luonnetta tarkasteleviin teemoihin käytettiin n. 17 % oppikirjojen kokonaissisällöistä. Vaikka tieteen luonteen käsittelyn suhteen tulokset yllä mainituilla tasoilla 1.–3. olivat verraten laimeita, opettajat ilmoittivat sisällyttävänsä usein NOS-teemoja opetukseensa. Wang ja Schmidt suhtautuivat kuitenkin tähän tietoon varauksellisesti, koska useissa tutkimuksissa tieteen luonteen opetuksen taso on osoittautunut kehnoksi.

Modernilla luonnontieteen historialla on vakiintunut käytännön opetusperinne. Postmodernit opetuskokeilut taas on koettu käytännön opetuksessa vieraiksi. Tieteensosiologiaan perustuvat luonnontieteen opetuskokeilut, joita 1980-luvulta lähtien on toteutettu, ovat jääneet useimmiten akateemisen maailman yksinoikeudeksi. Niille ei ole muodostunut opetusperinnettä kouluihin. Opetussuunnitelmien tulisi ohjata käytännön opetusta koulutuspoliittisesti toivottavaan suuntaan.⁴⁶ NOS-teemojen opetus on juuri tällainen suunta. On kuitenkin uhkana, että NOS-teemat jäävät pelkästään tutkijoiden kokeilukurssien opetuksiksi ja opetussuunnitelmien kannanotoiksi. Opetusta tutkinut Rosemary Hipkins on todennut yksiselitteisesti, että poliittinen keskustelu luonnontieteen opetuksen tehostamisesta tai luonnontieteen opetustutkijoiden kokeilut ”tieteen luonteesta” ja ”tieteellisen lukutaidon” käsitteistä ei ole kohdannut Uudessa Seelannissa koulujen luokkaopetusta.⁴⁷

⁴⁵ Hsianchi Wang ja William Schmidt, History, Philosophy and Sociology of Science in Science Education: Results from the third Mathematics and Science Study, Science and Education 2001, s.51-70.

⁴⁶ McKenney, Nieveen ja van den Akker (2006) erottavat kolme erilaista lähtökohtaa opetussuunnitelmien kehittämiseen: 1. Oppijan näkökulma: millaiset opiskeltavat elementit ovat keskeisiä oppijan henkilökohtaisten tai koulutustarpeiden kannalta. 2. Yhteiskunta: mitkä ovat keskeiset elementit koulutuksessa yhteiskunnan tarpeiden kannalta. 3. Tieto: mitkä ovat akateemisesta lähtökohdasta keskeiset tietosisällöt tai kulttuuriperinnön osa-alueet. Design Research from a curriculum perspective, teoksessa toim. van den Akker, Gravemeijer, McKenney and Nieveen, Educational Design Research 2006, s.111

⁴⁷ Tieteellinen lukutaito on luonnontieteen opetuksen eräs yleinen päämäärä, josta luonnontieteen opetuksen tutkijoilla on seuraavia tulkintoja: Hipkinsin (2005) mukaan ”tieteellinen lukutaito” kuuluu käsitteisiin, jotka sinällään tuntuvat hyviltä ja edistettäviltä käsitteiltä. Ne kuitenkin saavat erilaisia sisältöjä riippuen *käyttökontekstista* ”(s. 214). Näitä konteksteja on purkanut Laugsch (2000). Hän erottaa tieteelliselle lukutaidolle kolme pääluokkaa (”learned”, ”competent” ja ”able to function”, s. 82). Käsite viittaa edellytettäviin taitoihin ja kykyihin. Eräänä osana tässä taidossa on luonnontieteen riittävä sisällöllinen tietämys. Millar ja Robin (2004) jakavat koulun luonnontieteen tehtävän kahteen osaan: varustaa nuori henkilö tarvittavalla ymmärryksellä, jotta hän pystyy osallistumaan nyky-yhteiskunnan toimintaan tehokkaasti. Toinen on antaa luonnontieteen perustiedot tuleville luonnontieteen eksperteille. ”Kaikkea hyvää” luettelon löydämme Norrisilta & Phillipsiltä (2003): (tieteellinen lukutaito on kyky) ”ymmärtää luonnontieteen pääideat, ymmärtää luonnontiedettä ja sen sovellutuksia, tietoa siitä, mikä ymmärretään luonnontieteeksi, kykyä erottaa tiede ei-tieteestä, kyky ja halu olla itsenäinen, elinikäinen oppija, kykyä käyttää luonnontiedettä ongelmanratkaisussa, tietoa osallistua luonnontieteeseen perustuvaan sosiaaliseen toimintaan, *ymmärtää luonnontieteen luonnetta* (NOS), kykyä arvostaa ja saada tyydytystä luonnontieteestä, joka ilmenee ihmettelynä ja uteliaisuutena, tuntea luonnontieteen mahdollisuudet ja riskit, kykyä suhtautua kriittisesti tieteelliseen tietoon ja tieteelliseen

Miksi uudet käsitykset tieteen luonteesta leviävät opetukseen niin hitaasti? Useissa tutkimuksissa todetaan, että tieteen luonteen ymmärtäminen opetuksessa ei ole mahdollista, koska opettajien käsitykset luonnontieteestä ovat epäajankukaisia.⁴⁸ Opettajat opettavat tieteen luonnetta näiden käsitystensä pohjalta ja ovat usein tietämättömiä 1970-luvun jälkeen tapahtuneesta tieteenfilosofian, luonnontieteen historian ja tieteesosioiogian kehityksestä.⁴⁹

Tieteenfilosofi Yehuda Elkana totesi 1970-luvulla luonnontieteen opettajien käsitysten tieteen luonteesta (”tieteenfilosofiasta”) olevan 20 vuotta vanhoja ja nyt 30 vuotta Elkanaa myöhemmin opettajien käsitykset ovat jääneet lisää jälkeen nykytutkimuksesta.⁵⁰ Luonnontieteen opettajat eivät pidä tieteen luonteen opettamista erityisen tärkeänä. DeWayne Backhus ja Kenneth Thompson tekivät kyselytutkimuksen siitä, kuinka hyvin tieteen luonteen opetus oli levinnyt opettajia kouluttaviin yliopistoihin ja kuinka paljon käytännön kurssija aiheesta oli syntynyt. Kyselytutkimus paljasti, että tieteen luonteen opetuksen merkitys oli kiitettävästi ymmärretty: 80 % opettajankoulutuksen yliopisto-opettajista piti tieteen luonteen opetusta tärkeänä tai erittäin tärkeänä. Opetuksessa ei kuitenkaan ollut tapahtunut kehitystä käytännössä vuoden 1989 jälkeen.⁵¹

On monia käytännön syitä, miksi tieteen luonteen teemoja ei opeteta kouluissa, vaikka tieteen luonteen asemaa on korostettu eri maiden opetussuunnitelmissa. Tieteen luonteen opetus ei ensinnäkään ole minkään oppiaineen erityisellä vastuulla ja siksi sille ei ole omaa paikkaa opetuksessa. P. Reisin ja G. Cecílian mukaan pääsyyt ovat seuraavat⁵²:

1. Opetettava faktatietomäärä luonnontieteiden opetuksessa on suuri: teorit, termit, lait ja faktat eivät jätä aikaa NOS -teemoille.
2. Hyvä tieteen luonteen opetus sisältää välttämättä erilaisia ja keskenään vastakkaisia käsityksiä luonnontieteen merkityksestä. Opetussuunnitelmat taas ovat tiiviitä ja ne sisältävät näennäisen yksiselitteisiä ja yleisesti hyväksyttyä-

asiantuntemukseen...” Vielä lisänä on mainittava Michael Wolff Rothin (2002 ja 2004) edustama kanta, jossa luonnontieteen opetus nähdään poliittisena vallankäyttönä ja tieteellinen lukutaito on lähinnä luonnontieteen valtamomentin (luonnontieteen diskurssin dekonstruktioitaito) paljastaminen ja hyödyllisen tiedon haltuunottoa, tiedon *kulttuuri*-*nessa käyttökontekstissa*.

⁴⁸ Fouad Abd-El-Khalick ja Norman G. Lederman, Improving science teachers’ conceptions of nature of science: a critical review of literature, International Journal of science education 2000b, Sufen Chen, Development of an Instrument to Assess Views on Nature of Science and Attitudes Toward Teaching Science, Science Education 2006. Viimeisimmän arvion NOS-teemojen opetuksen levinneisyydestä löydämme Samson Nashonin, Wendy Nielsenin ja Stephen Petrinan artikkelista Whatever happened to STS? Pre-service physics teachers and the history of quantum mechanics, Science & Education 2007. Viimeksi mainittujen tutkijoiden mukaan yhteiskunnalliset NOS-teemat eli ns. STS-opetus on vähentynyt käytännön opetuksessa.

⁴⁹ Dietmar Höttecke ja Cibelle Celestino Silva, erottavat neljä estettä HPS sisältöjen leviämiseen, joista yksi on opettajien vanhentuneet tieteenfilosofiset käsitykset. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles, Science & Education 2011, s.293.

⁵⁰ Michael P. Clough, Learners’ Responses to the Demands of Conceptual Change: Considerations for Effective Nature of Science Instructions, Science & Education 2006.

⁵¹ DeWayne Backhus ja Kenneth Thompson, Addressing the Nature of Science in Preservice Science Teacher, Journal of Science Teacher Education 2006.

⁵² P. Reis & G. Cecilia, The Impact of Socio-Scientific Controversies in Portuguese Natural Science Teachers’ Conceptions and Practices, Research in Science Education 2004, s. 4.

viä käsitteitä päämäärinä; kaikki kannattavat esimerkiksi parempaa ”tieteellistä lukutaitoa”, koska se tuntuu positiiviselta päämäärältä.⁵³

3. Kansallinen tutkinto määrittää opetuksen sisällön, mutta NOS-teemoja ei tutkinnoissa kysytä.⁵⁴
4. NOS -teemat ovat opetussuunnitelman ulkopuolisia (extra-curricular) asioita. Näitä teemoja käsitellään, jos aikaa jää.

Niinpä vaikka tieteen luonteen tutkimusta ja opetuksen kokeiluprojekteja on harjoitettu akateemisissa tutkimuksissa⁵⁵, tutkimuksen hedelmät eivät leviä kouluopetuksen tasolle. Norman Ledermanin mukaan lukuisat opettajia koskevat NOS-tutkimukset neljän vuosikymmenen aikana ovat päättyneet neljään johtopäätökseen:

1. Opettajien käsitykset tieteen luonteesta ovat riittämättömiä.
2. Pyrkimykset syventää opettajien käsityksiä tieteen luonteesta ovat (suurelta osin) onnistuneet, kun syventämiseen on käytetty luonnontieteen historian kertomuksia ja kun käsityksiä tieteen luonteesta on eksplisiittisesti pyritty parantamaan.
3. Akateemisilla oppiarvoilla ei ole vastaavuutta opettajien käsityksien tieteen luonteesta kanssa.
4. Opettajien NOS-käsitysten vaikutukset luokkaopetukseen ovat (vielä) epäselviä, koska tieto tieteen luonteesta välittyy opetuksen ohjeiden ja situationaalisten tilanteiden mukaan.⁵⁶

⁵³ Luonnontieteen lyhyesti ilmaistujen opetustavoitteiden poliittisuudesta katso Jostein Sæther, *The Concept of Ideology in Analysis of Fundamental Questions in Science Education*, Science and Education 2003, s. 252–253.

⁵⁴ Dietmar Höttecke ja Cibelle Celestino Silva ovat tutkineet vastaavasti, miksi luonnontieteen historia (HPS), joka on tärkeä opetussisältö hyvässä NOS-opetuksessa, ei leviä luonnontieteen opetukseen; Höttecke ja Celestino Silva, *Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles*, Science & Education 2010. Syyt ovat heidän mukaansa seuraavat: luonnontieteen opetuskulttuuri eroaa muiden opetusaineiden opetuskulttuurista, fysiikan opettajien taidot, asenteet ja uskomukset luonnontieteen opettamisesta ja epistemologiasta ovat positivistisia. Tutkimuksessa viitataan Tsain (2002) tutkimukseen luonnontieteen opettajien tieteenfilosofisista käsityksistä, luonnontieteen opetukselliset institutionaaliset puitteet (esim. opetussuunnitelmat) eivät tue luonnontieteen historian opetusta, oppikirjojen puutteelliset luonnontieteen historialliset sisällöt. Michael P. Cloughin artikkelissa *The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life in Post-Secondary Science Education* (2012) esittelee projektin, joka tulee tuottamaan asiantuntevaa opiskelumateriaalia NOS-teemojen opetukseen. Osa materiaalista on jo valmiina ja saatavana osoitteesta <http://www.storybehindthescience.org>.

⁵⁵ Chin-Chung Tsai ja Meichun Lydia Wen (Research and Trends in Science Education from 1998 to 2002: a content analysis of publication in selected journals, *International Journal of the Science Education* 2005) ovat tutkineet NOS-teemoja koskevien artikkelien osuutta kolmessa luonnontieteen opetuksen aikakausilehdessä, *International Journal of the Science Education*, *Science Education* ja *Journal of Research in Science Teaching*. NOS-artikkelien osuus oli 1998 6,7 % ja 2002 9,1 % artikkelien kokonaismäärästä. *Science & Education* lehti on keskittynyt pelkästään NOS-teemoihin. Min-Hsein Lee et al. (2009) on tehnyt jatkotutkimuksen samojen lehtien sisällöistä vuosilta 2003–2007. Tulos oli, että NOS-artikkeleiden osuus oli pysynyt samana. Vuosittain keskimäärin 8, 2 % samojen luonnontieteen opetustutkimuslehtien sisällöistä käsittelee näitä teemoja.

⁵⁶ Norman G. Lederman, Philip D. Wade ja Randy L. Bell, *Assessing the Nature of Science: What is the Nature of Our Assessment?* Science & Education 1998.

Tieteen luonteen opettaminen on vaikeaa myös yliopisto-opettajalle. Julie Bianchini ja Alan Colburn (2000) tutkivat yhden opettajan, Alan Colburnin, tieteen luonteen opetusta. Colburn oli kokenut opettaja ja ansioitunut luonnontieteen opetuksen tutkija. Bianchinin ja Colburnin tutkimuksissa havaittiin, että tieteen luonteen opettaminen oli kokeneellekin opettajalle vaikeaa ja että opettaja on tunnilla tärkeässä roolissa, koska hän on aktiivinen NOS-keskustelun avaaja ja ohjaaja.⁵⁷ Tiedot eivät rakennu opiskelijoiden ymmärrykseen tarjottavan materiaalin kautta, josta oppilaat yksinään rakentavat uutta tietoa, vaan tarvitaan dialogia opiskelijoiden kanssa. Tässä suhteessa luonnontieteen historian käyttö ei sovi radikaalin konstruktivismin oppimiskäsitykseen, jossa oppilaat yksin rakentavat uutta tietoa ilman ohjaajan vaikutusta. Toisaalta myönnetään, että tieteen luonteen oppiminen sinällään edellyttää opiskelijan aktiivista panosta. Opiskelija pyrkii rakentamaan maailmankuvaansa, jonka keskeinen osa on luonnontiede.⁵⁸ Tieteen luonteen opetuskokeilut vievät opettajan keskelle vaikeaa tieteenfilosofista problematiikkaa. Siksi tieteen luonteen opettaminen edellyttää opettajilta sisällöllistä tietämystä sekä tieteenfilosofian ja tieteensosiologian perustietojen hallintaa. Tieteen luonteen opetuksen kautta luonnontieteen opetus on palaamassa sokraattisille juurilleen.⁵⁹

Opetussuunnitelmat sisältävät paljon luonnontieteen käsitteitä, joiden opetuksellinen merkitys ei käy ilmi termien käyttökontekstista opetussuunnitelmissa. Siksi tarvitaankin luonnontieteen historian opetusperinteen tarkastelua ja myös luonnontieteen historian käytännön kokeilujen tutkimusta. Englannin kansallista opetussuunnitelmaa tutkinut Keith S. Taber on todennut, että ”tieteen luonne” ei siirry opetukseen, jos tieteen luonteen tavoitteita ei muokata (*designed curricular models*) käytännön opetuksen *malleiksi ja materiaaleiksi*. On tarkasti analysoitava, mitä opetussuunnitelman tavoitteet merkitsevät ja millaisella opetusmateriaalilla ja opetusmalleilla niihin käytännössä voidaan päästä.⁶⁰

Tarvitaan siis tutkimusta, jossa luonnontieteen historian opetusta analysoidaan, sen opetusperinteistä etsitään sopivia sisältöjä opetukseen ja nämä sisällöt muokataan oppitunneiksi ja kursseiksi. Näin saadaan opettajille sopivaa tieteen luonteen opetuksen materiaalia (NOS-oppimateriaalia), jota ilman tieteen luonnetta (NOS) ei voi opettaa. Michelle Klostermannin (2009) mukaan esimerkiksi Yhdysvalloissa ei kuitenkaan, AAAS:n useista ohjeistuksista

⁵⁷ Julia Bianchini ja Alan Colburn, Teaching Nature of Science through Inquiry to Prospective elementary Teachers: A Tale of two Researchers, Journal of Research of Science Studies 2000.

⁵⁸ Konstruktivistisessa oppimiskäsityksessä oppilas nähdään aktiivisena oppijana (”Knowledge is never acquired passively”, Ernst von Glasersfeld, Science & Education 2000, s. 26, myös Päivi Tynjälä 1999, s. 40–41), joka pyrkii ratkomaan opettajan tai ulkopuolisen maailman tarjoamia ongelmia samalla tavalla kuin tiedemiehet. Konstruktivismin teemanumerossa Science & Education -lehdessä (2000) ontologista konstruktivismia ei hyväksytty, mutta sittemmin esimerkiksi filosofi Harvey Siegel palasi Science Education (2002) aikakausjulkaisussa ja hyväksyi kognitiivisen konstruktivismin lähtökohdat Multiculturalism, Universalism, and Science education: In Search of Common Ground. Science Education 2002, 803–820.

⁵⁹ Michael P. Cloughin (2006) käsitys hyvästä opetuksesta on, että opettajan on liikuttava luonnontieteen NOS-käsitteistössä opetuksessaan ”edestakaisin” laittaen käsitteitä oikeisiin konteksteihin ja purkaen niitä selvittävästi osiin. Tämä muistuttaa tieteenfilosofista analyysia ja sitä voi hyvin soveltaa luonnontieteen historian HPS-opetukseen: teorioiden ja käsitteiden syntykontekstista käsitteet ja teoriat siirretään uuteen ympäristöön tarkasteltavaksi. Luonnontieteen historian konkretia selvittää luonnontieteen abstrakteja käsitteitä. Peter Waters-Adamsin (2006) tutkimustulokset ovat samansuuntaisia. Hän suosittelee opettajille tieteen luonteen filosofista tutkimusta, jotta opettajat pystyvät ymmärtämään NOS-ideoiden käytännön merkityksen omassa opetuksessaan. Perustaltaan tämä merkitsee tieteenfilosofian paluuta luonnontieteen opetukseen.

⁶⁰ Keith Taber (Towards a Curricular Model of the Nature of Science, Science & Education, 2006) tähdentää analyysissaan, että ”luonnontieteen” ja oppilaan representaation ”luonnontieteestä” välillä on kolme aktiivista tulkitsijaa: opetussuunnitelman kehittäjä, opettaja ja oppilas. Jokaisella näistä on luonnontieteen kuvaa muuttava tulkintansa. Siksi kaikki kolme tasoa on saatava mukaan kehittämistutkimukseen.

huolimatta, opeteta luonnontieteen historiaa. Syynä on, että sille ei ole opetuksessa ”aikaa”, sen hallintaa ei mitata kansallisissa kokeissa, eikä sitä ole opettajainkoulutuksessa otettu huomioon.⁶¹

2.4 TIETEEN LUONNE JA TIETEENFILOSOFIA

Tieteen luonteen ymmärtäminen asettaa opetukselle ristiriitaisia tavoitteita, koska tieteen luonnetta opetetaan kahden erilaisen opetusperinteen, modernin (HPS) ja postmodernin (STS), kautta. Näitä opetusperinteitä ovat kehittäneet luonnontieteen opetuksen tutkijat. Tieteenfilosofi Brian Altersin (1997) mukaan tieteen luonteen asiantuntijoilta, tieteenfilosoifeilta, ei ole kysytty, mitkä olisivat heidän mielestään opetettavia luonnontieteen keskeisiä tieteen luonteen piirteitä.⁶² Alters on kiistänyt tutkimuksensa (1997) pohjalta käsityksen, että tiedeyhteisössä vallitsisi yhteisymmärrys tieteen luonteen peruspiirteistä.⁶³

Filosofit J. T. Eflin, S. Glennan ja G. Reisch (1999) ovat vastanneet Altersin moitteisiin ja muistuttaneet, että opiskelijoille tarjottavassa perusopetuksessa opetetaan ainoastaan perustietoja luonnontieteestä.⁶⁴ Heidän mukaansa opettajat tarvitsevat käytännön työhönsä ohjeistuksia. Heidän mukaansa johtavat tutkijat, myös Alters, myöntävät, että luonnontieteen opettajien käsitykset tieteen luonteesta ovat vanhentuneita tai virheellisiä.⁶⁵ Luonnontieteen opetuksen uudistusta ei voida lykätä vain siksi, että tieteenfilosofit ovat vielä erimielisiä tieteen luonteen yksityiskohdista. Tieteen luonne on tieteenfilosofian peruskysymyksiä, joista filosofit ovat olleet erimielisiä jo 2000 vuotta. Eflin kumppaneineen myös moittii Altersin tutkimuksen ”bysanttilaista monimutkaisuutta”. Tällainen monimutkaisuus johtaa heidän mukaansa opettajat (ja oppilaat) epätoivoon: kuinka opettajat voisivat opettaa mitään, kun kaikki tieteen luonteen piirteet paljastuvat ristiriitaisiksi ja monimutkaisiksi? Sitä ne ovatkin, koska ne ovat kiteytymiä 2000 vuoden pituisesta luonnontieteen historian traditiosta. Eflin et al. torjuvat kiinteän essentialistisen käsityksen tieteestä. Heidän mielestään käsite ”tiede” on ymmärrettävä Ludwig Wittgensteinin myöhäisfilosofian tapaan *perheyhtäläisyys*-

⁶¹ Michelle Klosterman, artikkeli lehdessä Newsletter of the History of Science Society, January 2009, s. 1.

⁶² Brian J. Alters, Who's Nature of Science, Journal of Research in Science Teaching 1997, s. 48.

⁶³ Toisaalta tiedemiehiltä on kysytty, mitkä ovat heidän mielestään tieteen luonteen keskeiset piirteet. Jonathan Osborne, Sue Collins, Mary Rattcliffe ja Rickhard Duschl tekivät Englannissa delfoi-kartoituksen eri alojen tiedemiehille. Tutkimuskysymys oli, mitä piirteitä luonnontieteestä tulisi oppilaille opettaa. Vastaajat nostivat esiin seuraavat teemat (suluissa kuinka suuri osuus vastaajista mainitsi kyseisen teeman): Luonnontiede ja teknologia (teemojen yhteys toisiinsa) (65 %), moraalinen ja eettinen dimensio luonnontieteen kehityksessä (61 %), luonnontieteellinen tieto pohjautuu empiiriseen perustaan (61 %), luonnontieteen korjautuva ja kumuloituva luonne (61 %), havainnointi ja mittaaminen (56 %), luonnontieteellisen tiedon ominaispiirteet (52 %) ja tieteellisen tiedon erityiset menetöt (52%). What “Ideas-about-Science” Should Be Taught in School Science? A Delphi Study of the Expert Community, Journal of Research in Science Teaching 2003/7.

⁶⁴ Juli T. Eflin, Stuart Glennan, George Reisch, The Nature of Science: A Perspective from the Philosophy of Science, Journal of Research in Science Teaching 1999/1, s. 107–116.

⁶⁵ Chin-Chung Tsai on artikkelissa Nested epistemologies: science teachers beliefs of teaching, learning and science (2000) tutkinut opettajien ja opetusharjoittelijoiden käsityksiä luonnontieteestä. Hänen mukaansa 57 % tutkittavista oli selkeästi positivistieja. Tsai yritti opetusinterventiossaan saada opiskelijat omaksumaan konstruktivistisen käsityksen tiedosta ja piti sitä kehittyneempänä tieteenfilosofisena käsityksenä kuin positivismia.

käsitteeksi.⁶⁶ Tiede ei siis ole teräväpiirteisesti määriteltävä käsite, vaan se viittaa joukkoon käsitteen kontekstuaalisia käyttäjiä.⁶⁷

Eflin et al. (1999) antaa NOS-opetukseen opetusperiaatteita, jotka ovat käytännön opetustyöstä syntyneitä ja joita noudattamalla opettaja voi välttää tyypillisiä tieteenfilosofisia sekaannuksia. Eflin et al. on esimerkiksi sitä mieltä, että looginen positivismi käsitellään usein vain sen kritiikin kautta ja ikään kuin kertomuksena positivismin epäonnistumisesta. Tällöin positivismi on itse opetuksen luoma olkiukko, joka ”suurieleisesti poltetaan” ymmärtämättä kuitenkaan loogisen positivismin ongelmanasettelun lähtökohtia (vrt. tieteenhistorian kontekstualismi).⁶⁸ Eflinin et. al (1999) mukaan luonnontieteen opettajien tulisi tarkastella yleisesti empirismia ja kokeellisuutta tiedon lähtökohtana. Tässä kohdassa erityisesti suositellaan luonnontieteen historiallisten tapausten käyttöä, koska niiden kautta saadaan konkreettisesti valaistua tieteen luonteen piirteiden erityislaatua. Tieteen luonnetta voidaan opettaa käytännön ongelmakontekstien kautta, ei ”olemuksellisinä käsitteinä”. Luonnontieteen historia on tarpeen, sillä juuri se tarjoaa käytännöllisiä ja ymmärrettäviä konteksteja. Luonnontiede ja tieteenfilosofia ovat ymmärrettäviä, kun niitä valotetaan luonnontieteen historiasta otetuin esimerkein ja historia puhdistetaan noviisille maltillisen presentistisesti ymmärrettävään muotoon. Eflin siis suosittelee tieteen luonteen opetukseen perinteistä, modernia luonnontieteen historian opetustapaa (HPS).

1980-luvulta lähtien tieteenfilosofinen naturalismi on tuottanut tulokseksi tieteenfilosofiassa ”käytännöllisen käänteen”, jonka tärkeä osa on luonnontieteen käytännön tutkimus sekä politiikan, talouden, tekniikan ja tieteen vuorovaikutusten tutkimus (valta-analyysi).⁶⁹ Näiden aspektien merkityksen luonnontieteen historian tutkijat myöntävät nykyään. Kiistaa syntyy, kun aletaan tarkastella, missä määrin tiede ”palautuu” yhteiskunnallisiin ilmiöihin. Kiista on ratkaisematta, mutta yhteiskunnallisen ulottuvuuden käsittely luonnontieteen opetuksessa on perusteltua, koska opiskelijoiden (ja kaikkien kansalaisten) on tärkeää tunnistaa myös luonnontieteen poliittiset ja yhteiskunnalliset ulottuvuudet ja yhteiskunnan valtasuhteiden heijastuminen luonnontieteeseen.

Tieteensosiologian opetukseen Eflin et al. (1999) suhtautuu huomattavan kriittisesti. Heidän mielestään naiivi realismi on suositeltavin tulkinta käytettäväksi opetukseen.⁷⁰ Tämä näkökanta johtuu siitä, että realismi–instrumentalismi-keskustelun avaaminen johtaisi Eflinin mielestä liian kompleksiseen keskusteluun ja ”bysanttilaiseen” filosofiseen sekasotkuun. Eräät tieteensosiologian lähtökohdat ovat kuitenkin suositeltavia: esimerkiksi oppilaille on

⁶⁶ Termi ”family resemblance”, Ludwig Wittgenstein, *Filosofisia tutkimuksia* 1980, s. 65.

⁶⁷ Tieteenfilosofit Gürol Irzik ja Robert Nola analysoivat (*A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education*, Science & Education 2011) luonnontiedettä perheyhtäläisyyskäsitteenä ja toteavat, että tällainen analyysi luonnontieteestä liittyy NOS-teemat luonnontieteen historiaan: ”The family resemblance approach therefore does justice to the historical development of science and underlines its dynamic, open-ended nature” s.604.

⁶⁸ Tähän tulokseen on tullut luonnontieteen opetuksen nykytutkimuskin, Science & Education, teemanumero ”positivismi” 2004. Looginen positivismi on hyvin monisäikeinen ilmiö, jossa ei ole koskaan vallinnut monoliittista yhteisymmärrystä. Usein sitä käytetään esimerkkinä typeryydestä ja filosofisesta harhaopista. Myös positivismia tulisi ymmärtää omassa historiallisessa kontekstissaan.

⁶⁹ Kirjan *The Companion to the History of Modern Science* (toim. Olby, Cantor, Christie & Hodge 1990) toinen luku (s. 77–127) käsittelee juuri näitä uusia lähestymistapoja luonnontieteen historiaan: marxilaista tulkintaa, feminismia, tieteensosiologiaa ja tieteen kielen (kielipeli, diskurssi) tutkimusta.

⁷⁰ ”Naively realist view is most appropriate for science education”, Eflin ja muut, 1999, s. 112.

hyvä esitellä kilpailevia tieteen paradigmoja. Tieteensosiologista vahvaa ohjelmaa ja äärimmäistä sosiaalista konstruktivismia on vältettävä opetuksessa, samaten esimerkiksi tieteenfilosofian yhteismitattomuusteessin käsittelyä, koska niitä Eflinin ja kumppaneiden mielestä opiskelijoiden vaikea ymmärtää ja ne ovat liian teknisiä käsiteltäväksi. Eflinin mukaan näiden tieteen sosiologisten näkökulmien avaaminen aiheuttaa vain enemmän sotkua, kuin selvyttä opetukseen. Opettajien on kuitenkin tunnettava tämä keskustelu, sillä kun luonnontieteen kehitystä tarkastellaan, ei ”konstruktivismiin” liittyviä piirteitä voi väistää. Tässäkin luonnontieteen historian tarjoama konkretia tulee avuksi. Tieteen luonteen esittelyä Eflin et al. (1999) suosittelee tehtäväksi luonnontieteen käytännön ja luonnontieteen historian kautta. Silloin oppilaat saivat täyteläisen kuvan käsitteestä ”tiede”.

2.5 LUONNONTIETEEN OPETUS JA LUONNONTIETEEN HISTORIA

2.5.1 LUONNONTIETEEN HISTORIAN HYÖDYT LUONNONTIETEEN OPETUKSESSA

Luonnontieteiden opetuksessa luonnontieteen historian käyttöä opetusmateriaalina on tutkittu paljon.⁷¹ Mitkä ovat luonnontieteen opetuksen tutkijoiden syyt suositella luonnontieteen historiaa opetukseen? Koska nämä tutkijat ovat luonnontieteen edustajia he ajattelevat ensisijaisesti luonnontieteen historian hyötyjä luonnontieteen opiskelun kannalta. Luonnontieteen historian käyttö opetuksessa saattaa helpottaa luonnontieteen opiskelua, ja siksi sitä heidän kannaltaan katsoen kannattaa liittää luonnontieteen opetukseen.⁷² Esimerkiksi Martin Monk ja Jonathan Osborne (1997)⁷³ kiteyttävät luonnontieteen historian edut luonnontieteen opetuksessa kolmeen kohtaan:

1. Lapsen kognitiivinen kehitys on luonteeltaan samanlainen kuin se kehitys, jonka luonnontiede on käynyt läpi historiansa aikana (parallellismi).
2. Tieteen teorioiden ja ideoiden historiallisessa kehittämisessä huomataan samanlainen vastustus uusia käsityksiä kohtaan, kuin opiskelijoilla on luonnontieteen uusien käsitteiden oppimisen yhteydessä. Luonnontieteen historian opiskelun kautta voidaan lieventää opiskelijoiden käsitteiden oppimiseen muutosvastarintaa.

⁷¹ Elder Sales Teixeira, Ileana Maria Greca ja Olivar Freire (The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions, Science & Education, 2011, s. 702) ovat esittäneet yhteenvedon HPS-kokeiluja koskevien artikkeleiden kokonaismäärästä vuosikymmenittäin luonnontieteen opetustutkimuksen aikausjulkaisuissa. Kokeilujen suuri kasvu on huomattavissa 1980-luvulta lähtien. Erityisesti 1980-luvun viimeiset vuodet olivat erityisen vilkkaita HPS-kokeilujen aikaa.

⁷² Teixeira, Greca ja Freire (2011, s. 714) analysoivat yhdeksän HPS-kokeilun tavoitteet ja tulokset. Niissä saavutetut tulokset olivat seuraavat: seitsemän kokeilua pyrki parantamaan opiskelijoiden käsitteellistä tietoa (viisi ilmoitti onnistuneensa tässä), viisi pyrki opiskelijoiden parempaan NOS-käsitykseen, neljä pyrki muuttamaan opiskelijoiden asenteita luonnontiedettä kohtaan (näistä kaksi ilmoitti onnistuneensa tavoitteissaan), kaksi pyrki parantamaan opiskelijoiden argumentointitaitoja, ja yksi pyrki parantamaan opiskelijoiden metakognitiivisia taitoja.

⁷³ Martin Monk ja Jonathan Osborne (Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy, Science Education 1997, s. 408) kehittivät luonnontieteen opettajien opetustarpeita silmällä pitäen tiukkasääntöisen konstruktivistisen tavan käyttää luonnontieteen historiaa opetuksessa. David Rudge ja Eric M. Howe (An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science, Science & Education 2007) kritisoivat voimakkaasti Monkin ja Osbornen ”pakkopaitakonstruktivismia”. Historiallisen tiedon erityisluonteeseen Monkin ja Osbornen kaavamaisuus ei heidän mielestään sopinut.

3. Luonnontieteen historiallinen tarkastelu ennen–nyt-akselilla tarkentaa kuvaa nyky-luonnontieteen luonteesta ja sen saavutuksista.⁷⁴

Monkin ja Osbornen mukaan luonnontieteen opettajat suuntaavat opetuksensa luonnontieteen *lopputuotteisiin* (keksinnöt), kun taas historia valaisee luonnontiedettä *prosessina*, historiallisena polkuna. Prosessiajattelu liittää luonnontieteen historian voimakkaasti luonnontieteen opetukseen. Monkin mainitsema prosessiajattelu on myös historian opetuksen kannalta hyvä syy luonnontieteen historian opettamiseen.

Monkin ja Osbornen mainitsemasta kolmesta kohdasta viimeinen voidaan hyväksyä sellaisenaan, jos luonnontieteen historialla ei tarkoiteta myyttistä tulkintaa. Ensimmäinen ja toinen kohta kietoutuvat toisiinsa, ja näihin väittämiin on luonnontieteen historian kannalta suhtauduttava kriittisesti. Niistä puhuttaessa ei luonnontieteen historian kehityksellä useinkaan tarkoiteta ”todellista historiallista kehitystä” vaan tieteenfilosofista rekonstruktiota tästä kehityksestä.⁷⁵ Parallelismilla tarkoitetaan, että luonnontieteen historian käsittemuutosten opettaminen ei ainoastaan edistä oppimista, vaan suuret käsitteelliset muutokset luonnontieteen historiassa ovat samankaltaisia kuin lasten käsitejärjestelmissä tapahtuvat muutokset. Paul Thagard (1997) on rinnastanut lasten käsitteiden oppimisen ja ajattelun muutokset historiallisesti tärkeisiin teorioiden käsittemuutoksiin eli luonnontieteen vallankumouksiin.⁷⁶

Monk ja Osborne (1997) perustivat luonnontieteen historian ohjelmansa konstruktivistiselle oppimiskäsitykselle. Lähtökohtana luonnontieteen historian opetustutkijoilla on usein Ernst von Glasersfeldin radikaali konstruktivismi. Von Glasersfeldin mukaan opiskelija on kuin historian tiedemies, joka pystyy rakentamaan omista havainnoistaan itselleen käyttökelpoisen (*viable*) kuvauksen maailmasta, jonka olemassaolosta tai rakenteesta emme todellisuudessa voi saada varmaa tietoa (von Glasersfeld 1998). Kun opiskelijalle tarjotaan empiiristä materiaalia, hänelle rakentuu ilmiöistä käyttökelpoinen käsitys hänen maailmankuvaansa.⁷⁷ Daniel Gil-Perez (et al.) ovat esittäneet konstruktivismin maltillisemmin että tiedemiehen sijasta oppilas on käsitettävä ”noviisitutkijaksi”.⁷⁸ Tämäkin lievennys jättää huomioimatta sen, että eihän oppilaan opettajakaan tunne eri luonnontieteenalojen historiallista kehitystä tai tieteiden sen hetkistä tutkimuskontekstia.

⁷⁴ Monk ja Osborne 1997, s. 409.

⁷⁵ Douglas Allchin, “Does NOS refer to idealized science or real? The contrasting views resonate with philosophers, on the one hand, and historians and sociologists, on the other, accounting for much interdisciplinary wrangling over what science truly “is”. Allchin, Evaluating knowledge of the nature of (whole) science, Science Education 2011, s. 927.

⁷⁶ Paul Thagard, Conceptual Revolutions 1997, s. 246. Alison Gopnik ja Andrew Meltzoff ovat esittäneet samansuuntaisen hypoteesin (‘theory theory’): “... teorianmuutos tieteessä ja lasten ajattelussa on samanlaista, luultavasti identtistä.” Michael A. Bishopin ja Stephen M. Downesin artikkelissa The theory theory thrice over the child as scientist, Superscientist or social institution, Studies in History of Philosophy of Science 2002.

⁷⁷ Von Glasersfeldin tulkinna lapsi rakentaa maailmankuvansa itsenäisesti. John Leach ja Phil Scott (Individual and Sociocultural Views of Learning in Science, Science & Education 2003, s. 204) korostavat sen sijaan oppimislanteen sosiaalisuutta tukeutuen Vigotskiin ja Bakhtiniin sekä kielen merkitystä oppimisessa, niinpä heidän mukaansa oppimisessa keskeisessä asemassa on opettaja.

⁷⁸ Daniel Gil-Perez, Jenaro Guisasaola, Antonio Moreno, Antonio Cachapuz, Anna M. Pessoa de Carvalho, Joaquin Martinez Torregrosa, Julia Salinas, Pablo Valdes, Eduardo Gonzales, Anne Gene Duch, Andréé Dumas-Carre, Hugo Tricarico & Romuldo Gallego, Defending Constructivism in Science Education, Science & Education 2003.

Luonnontieteen historian yhteydessä on vaikea hyväksyä lähtökohtaa, että oppilas/opiskelija voisi, ilman esitietoja (luonnontieteen historian perinnettä), ilman tiedeyhteisöä tai ilman asiantuntijan opetusapua abstrahoida empiirisestä todellisuudesta tieteenfilosofisesti monimutkaisia historiallisia käsitteitä. Luonnontieteen historian kontekstuaalinen tutkimus on osoittanut, että ”luonnontiede” ei ole yksittäisten tutkijoiden aivojen tuotos vaan luonteeltaan kollektiivinen tiedeyhteisön historiallisen tutkimusprosessin tiivistymä.⁷⁹ Tilannetta kuvaa kulunut fraasi ”nero seisoo jättiläisten hartioilla”. Hartiat muodostuvat pitkistä luonnontieteellisen ajattelun traditiosta, joka ulottuu kauas menneisyyteen.⁸⁰ Useimmiten opetuksessa käytettävät historialliset esimerkit luonnontieteen historiasta ovat tieteenfilosofisia rationaalisia rekonstruktioita. Nämä rekonstruktiot eivät vastaa kuitenkaan luonnontieteen historian tutkijoiden käsitystä luonnontieteen kehityksestä.

Lisäksi on huomautettu, että luonnontieteellisessä tiedossa on käsitteellisesti vaikeasti hahmottuvia osia, kuten ”hiljainen tieto” (*tacit knowledge*) ja toimintaan liittyvä ”käden tieto”.⁸¹ Niinpä luonnontieteen historian tutkijat vastustavat käsitystä, että oppilas voisi itse konstruoida luonnontieteen käsitteitä tarjottavasta empiirisestä aineistosta. Luonnontieteen historian hyödyllisyys perustuu siihen, että se antaa historiallisen näkökulman vaikeisiin käsitteisiin, jotka ovat usein empirian ja arki-intuition vastaisia.⁸² Tällainen luonnontieteen historia ei kuitenkaan ole tutkijan historiaa vaan opiskeluun tarkoitettu yksinkertaistettu versio varsinaisesta historiallisesta tutkimusprosessista. Opetuspäämäärät määrittävät sen, millaista luonnontieteen historiallista materiaalia käytetään opiskelutavoitteiden saavuttamiseksi.

Vaikka historiallinen luonnontieteen kehitys on ollut aina ainutkertaista eikä sitä voida koko kontekstuaalisessa tarkkuudessaan opetuksessa kuvata, luonnontieteen historia on hyödyllistä luonnontieteen opiskelussa, koska se avaa mahdollisuuden ymmärtää tieteen käsitteet niiden *syntykontekstissa* (ei ns. ”final form” -muodossa) ja *kehkeytymässä* olevana prosessina. Tällöin luonnontieteen historia on erityisesti opiskeluun suunniteltua ja opiskelulla on omat päämääränsä, jotka on opetussuunnitelmissa annettu tai kiteytetty tieteen luonteen päämääriksi.⁸³ Vaikka analogiaa historian tiedemiehen ja nykypäivän opiskelijan välillä ei hyväksyttäisi, monet tutkijat ovat sitä mieltä, että luonnontieteen historia oikeassa kertomuksellisessa muodossa, oikeita episodeja luonnontieteen historiasta valiten, on hyvä opetuksen ohjausväline ja

⁷⁹ John Osborne, *Science & Education* 2000, s. 122. Toisaalta luonnontieteen historian käyttöä oppimisen *apuna* pidetään suositeltavana ja siitä saatuja positiivisia tuloksia tutkimuksellisesti varmennettuna (esim. Wandersee 1985, Stinner ja Williams 1993, Seroglou et al. 1998, Galili ja Hazan 2001).

⁸⁰ Luonnontieteen historian tutkimuksessa luonnontieteen teorioiden kehitys ja muutos on osoittautunut niin monimutkaiseksi, ettei lapsi voi käydä tätä prosessia sellaisenaan läpi. Michael R. Matthews, Editorial, *Science & Education* 2000, s. 12. Luonnontieteen historian käsitteiden ymmärtäminen ilman opetusta on epätodennäköistä ja useimmille luultavasti mahdotonta. Koska luonnontiede on tässä mielessä vaikeaa, sen historiallinen kehitys on ollut hyvin aikaa vievää. Edgar Jenkins, *Constructivism in School Science Education: Powerful Model or the most Dangerous Intellectual Tendency*, *Science & Education* 2000, s. 601.

⁸¹ Michael Polanyin (1958) ”tacit knowledge” -käsitteellä tarkoitetaan tutkimuksen osaa, jota ei koskaan raporteissa verbalisoida, mutta joka kuitenkin on oleellisen tärkeä osa tutkimusprosessia. Thomas Kuhnin käsite ”käden tieto” kuvaa taas tutkimuksen käytännöllistä puolta ja sen merkitystä tutkimusprosessissa. Nämä tutkimuksen osat opitaan käytännön tutkimustyön yhteydessä.

⁸² Michael R. Matthews, *Idealisation and Galileo’s Pendulum Discoveries: Historical, Philosophical and Pedagogical Considerations*, *Science and Education* 2004, s. 708.

⁸³ Teixeira, Greca ja Freire (2011) tutkimasta yhdeksästä HPS-kokeilusta viisi pyrki juuri tähän tavoitteeseen, ja kaikki ilmoittivat myös onnistuneensa tavoitteessaan. *The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions*, *Science & Education* 2011, s. 313

auttaa opiskelijoita oppimaan.⁸⁴ Kun luonnontieteen historian avulla opetetaan luonnontiedettä kehkeytyvänä prosessina, saadaan realistisempi kuva luonnontieteestä kuin opetettaessa luonnontiedettä valmiina tuotoksena.

Käsitys opiskelijoiden ja tutkijoiden muutosvastarinnasta luonnontieteen kehityksessä on lainattu Thomas Kuhnilta. Kuhnin keskeisiä näkemyksiä kirjassa *The Structures of Scientific Revolutions* (1962) on, että tieteenalan vanhan tutkimustavan (paradigman) kannattajat vastustavat lähtökohtaisesti aina uutta paradigmat ja siksi muutos luonnontieteessä on aina hidas ja vaikea prosessi. Koska eri paradigmojen välillä vallitsee yhteismitattomuus, uuden paradigman kannattajat eivät voi koskaan vakuuttaa rationaalisella argumentoinnilla vanhan tutkimustavan kannattajia, vaan nämä näkevät asiat eri tavalla kuin uuden paradigman kannattajat.⁸⁵ Havainnot eivät koskaan ole täysin objektiivisia, vaan empiirinen aineisto nähdään aina oman teorian näkökulmasta, ratkaisuvia kokeita (*experimentum cruxis*) ei ole olemassa ja aina voidaan kehittää lisäteorioita paikkaamaan ei-sopivia havaintoja (Duhem–Quine-teesi). Lisäksi on muistettava, että tiedemiesten epäluuloisuus on useimmiten perusteltua ja että epäluulo (kriittisyys) on oleellinen osa tieteellistä tutkimusta.⁸⁶

Monkin ja Osbornen mainitseman toisen luonnontieteen historian hyödyn eli ”vastustusteorian” mukaan oppilaat vastustavat uuden oppimista samalla tavalla kuin tiedemiehet vastustavat uusia käsitteitä ja teorioita: uusi paradigma koetaan perustellusti uhkaksi vanhalle maailmankuvalle. Tutkijoiden tapauksessa uusi paradigma on uhka ammatinharjoittamiselle.⁸⁷ Erona on kuitenkin se, että tieteellisen teorian osoittaminen oikeaksi on ajallisesti pitkä dialogi, jossa molemmat osapuolet esittävät useimmiten täysin rationaalisia argumentteja oman käsityksensä puolesta. Uuden keksinnön kriittinen tarkastelu ja sen testaus kuuluu oleellisena osana tieteeseen ja on luonnontieteen olennainen piirre.

Yhteenvetona voidaan sanoa, että luonnontieteen opettamisen kannalta tieteen luonteesta on opetettava vastakkaisia piirteitä. Ensinnäkin on opetettava radikaalia *muutosta*, joka ilmenee käsitteiden ja teorioiden muutoksena, ja toisaalta luonnontutkimuksen ja tulkinnan pitkää perinnettä ja tämän perinteen *jatkuvuutta*. Uusia tulkintoja tarkastellaan kriittisesti eikä vanhoja koeteltu teorioita hevillä hylätä. Historia opettaa muutosta ja jatkuvuutta. Lisäksi se korostaa tiedemiehen merkitystä luonnontieteelle, mutta toisaalta myös luonnontieteen *kollektiivista luonnetta*.

⁸⁴ Michael P. Clough, *The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists Life in Post-Secondary Science, Science & Education* 2011, pitää selvänä, että oikein muokatuilla luonnontieteen historian tarinoilla voidaan opettaa kaikkia haluttuja NOS-teemoja.

⁸⁵ Thomas Kuhnin merkitys luonnontieteen opetustutkimukseen on ollut erityisen suuri ja vaikuttanut luonnontieteen opetukseen monella tavalla. Siksi hänen keskeisiä käsityksiään käsitellään tässä työssä omassa luvussaan.

⁸⁶ Douglas Allchin, *Pseudohistory and Pseudoscience, Science & Education*, 2004, s. 187. Myös Douglas Allchin, *Science Education* 2011.

⁸⁷ J. Solbes ja M. Traver (Against a Negative Image of Science: History of Science and the Teaching of Physics and Chemistry, *Science & Education* 2003) ovat tarkastelleet opiskelijoiden asenteellista luonnontieteen vastustusta. Heidän mukaansa tämä on ollut tyypillistä länsimaiselle kulttuurille jo vuosikymmeniä. Heidän mukaansa syy on tieteen sosiologian ”vahvan ohjelman”, joka on ytimeltään luonnontiedekielteinen ja pyrkii horjuttamaan luonnontieteen asemaa julkisuudessa ja koulutuksessa. Heidän mukaansa luonnontieteen historian opetuksen tehtävä on parantaa luonnontieteiden julkisuuskuvaa opiskelijoiden keskuudessa. Omassa tutkimuskokeilussaan Solbes ja Traver onnistuivat luonnontieteen historian avulla tekemään luonnontieteen kiinnostavaksi.

2.5.2 LUONNONTIETEEN OPETTAMINEN JA LUONNONTIETEEN HISTORIAN KONTEKSTUALISMI

Luonnontieteen historian pedagogisissa kokeiluissa käytetään käsitettä ”kontekstualismi”.⁸⁸ Luonnontieteen historian tutkimuksessa sillä tarkoitetaan jonkin luonnontieteen keksinnön *käsitteellis-teoreettisen* ympäristön tarkkaa kartoitusta. Toisaalta sillä tarkoitetaan myös keksinnön *yhteiskunnallis-sosiaalisen* synty-ympäristön tutkimista. Luonnontieteen historian tutkijat käyttävät usein lyhyttä aikajännettä ja tunkeutuvat ajanjakson luonnontieteen ”paikalliseen elämänmuotoon” suurella tutkimuksellisella tarkkuudella.⁸⁹ Kun luonnontieteen historiaa kirjoitetaan pitkällä aikajänteellä, useimmiten käytetään nykytieteestä lainattuja käsitteitä. Tällaista historiallista nykyhetken tutkimustilanteesta lähtevää tulkintaa kutsutaan presentismiksi. Historiantutkimuksessa presentismia pidetään luonnontieteen historian tyypillisenä tutkimusvirheenä. Presentistisessä historian tulkinnassa nykyisillä luonnontieteen käsitteillä selitetään menneisyyden luonnontieteen historiallista prosessia. Parhaiten presentismia voi välttää lyhyillä aikajänteillä, jolloin tutkija eläytyy ajankohdan elämäntapaan ja tutustuu tarkasti ajan yleiseen ajatteluun. Tällöin kuitenkin luonnontieteen historian yleinen merkitys suurelle yleisölle tai opiskelijoille häviää, koska tutkimuksen lukijoina voivat toimia vain tuon erityisen historiallisen ajankohdan ja juuri tuon historiallisen erityisalan tutkijakollegat. He ovat asiantuntijoita omassa kapeassa tutkimussektorissaan ja tuntevat sen ”kielipelin”.

Luonnontieteen historian opettaminen noviiseille on aina käsitteellinen kompromissi, ja siksi opetustilanne on aina ”presentistinen” ja historiaa käytetään ”suunnilleen”. Tätä ”suunnilleen”-historiaa voidaan kutsua myös opetukselliseksi kontekstualismiksi.⁹⁰

Luonnontieteen historian HPS-opetuskokeiluissa otetaan käsittelyyn pitkiä historiallisia aikajänteitä, teoriamuutoksia ja perinteisiä tieteenfilosofisia ongelmia. Yleensä HPS-opetuskokeiluissa käsitellään kahta kronologisesti peräkkäistä luonnontieteellistä maailman-

⁸⁸ Kontekstualismilla tarkoitetaan luonnontieteen historiassa yhtäältä filosofiseen käsitteanalyysiin läheisesti liittyvää kontekstualismia, josta esimerkkinä on Alexandre Koyrén tuotanto, mutta myös toisaalta luonnontieteen historian yhteiskunnallista kehystä. Peter Galison määrittelee saman asian luonnontieteen historian lähteiden perusteella niin, että ensimmäinen on tekstuaalinen konteksti (”texts in question and also texts surrounding philosophers addressing related issues”) ja jälkimmäinen ei-tekstuaalinen konteksti (lähteet, jotka eivät ole syntyneet itse ongelman tutkimuksen aikana). Peter Galison, *Ten Problems in History and Philosophy of Science*, Isis 2008.

⁸⁹ Tutkijat käyttävät ”actorin” eli luonnontieteen historiallisen toimijan näkökulmaa ja haluavat erityisesti välttää ”kaikkitietävän jumalan näkökulmaa”. Jälkimmäisessä tiedetään jo etukäteen, mitä historiassa oli jo tapahtunut, ja asetutaan luonnontieteen historiallisissa kiistoissa helposti voittajan puolelle. Nick Tosh väittää, että modernin näkökulmaa tulee käyttää luonnontieteen historiassa. Esimerkiksi Tyko Brahe mittasi Marsin parallaxin ilmoituksensa mukaan useasti, mutta moderni luonnontieteen historia ”tietää”, että se ei ollut mahdollista tuohon aikaan. Tosh antaa useita esimerkkejä historiallisesta realismista luonnontieteen historiassa (Tosh, *Science, truth and history*, Part I. *Historiography, relativism and the Sociology of Scientific Knowledge*, *Studies in the History and Philosophy of Science* 2006). Myös Helge Kragh (*Social Constructivism, the Gospel of New Science and the Teaching of Physics*, *Science and Education* 1998) käyttää esimerkkinä modernin tulkinnan käytöstä luonnontieteen historiassa astronomiaa. Myös J. Heilbron suosittelee (*History in Science Education, with Cautionary Tales about the Agreement of Measurement and Theory*, *Science & Education* 2002, s. 212) modernia astronomiaa opetukseen: ”Further to this theme, I can offer my own experience that exposure to old astronomy can materially assist students of modern astronomy. That is because, as in the previous examples, the old science is not entirely outmoded: anyone who masters the full geocentric accounts of the motions of the sun, moon, and stars knows as much about their appearances as the naked-eye astronomer requires even now.”

⁹⁰ Stephen Shapin, *Hyperprofessionalism and the Crises of Readership in History of Science*, *Isis Focus*, 2005, s. 239. Myös Andrew Cunningham ja Perry Williams, *De-centring the “Big Picture”: The Origins of Modern and the Modern Origins of Science*, teoksessa toim. Hellyer 2003, s. 218.

kuva ja pyritään osoittamaan niissä tapahtuneet käsite-, teoria- ja maailmankuvamuutokset. Erityisesti kontekstuaalista lähestymistapaa on käytetty ptolemaiolaisen ja kopernikaanisen kosmologian vertailuun, aristoteelisen liikekäsityksen ja klassisen mekaniikan vertailuun sekä kemian vallankumouksen, geologian teorian, evoluutioteorian, kvanttimekaniikan ja suhteellisuusteorian synnyn opettamisessa.⁹¹

Kontekstualismi on myös historianopetuksen tärkeä tavoite. Oppiaine historian tavoitteet ovat vain laajemmat kuin luonnontieteiden. Pelkkä internalistinen, käsitteellinen luonnontieteen historian opettaminen ei riitä, vaan opiskelijoille pyritään opettamaan luonnontieteen historian keskeisten teorioiden sosiaalis-yhteiskunnalliset keksimiskontekstit ja niiden historialliset merkitykset. Luonnontieteen historian opetuksen kehittämispyrkimykset siis johtavat kahteen eri suuntaan:

- *internalistinen kontekstualismi* johtaa HPS-opetukseen, joka on perinteellistä luonnontieteen historiaa ja jolla on voimakas tieteenfilosofinen painotus;
- sosiaalis-yhteiskunnallinen eli *eksternalistinen kontekstualismi* johtaa taas STS-opetukseen, jonka painopiste on luonnontieteen suhteessa teknologiaan, talouteen ja tieteen sosiologiaan.⁹²

Luonnontieteen historiaan painottuvia STS-opetuskokeiluja ei juuri ole.⁹³ Science & Education -lehdessä artikkelit Galileo Galilein tapauksesta ja laajat opetukselliset heiluriliike- eli pendulum-teemanumerot tosin sisältävät yhteiskunnallisia STS-laajennuksia. Ei ole tieteelli-

⁹¹ Luonnontieteen historian käsitteellisten muutosten ja vallankumousten (internalistinen kontekstualismi) opettaminen kehittää tutkimusten mukaan oppilaiden ajattelun taitoja. A. H. Wang ja David Marsh käyttivät (Science Instruction with a Humanistic Twist: Teachers' Perception and Practice in Using the History of Science in Their Classrooms, Science & Education 2002b) internalistista kontekstuaalista opetusideaa. Luonnontieteen historian käsitteellisten muutosten ja vallankumousten tutkiminen Wangin mukaan kehittää opiskelijoiden ja opettajien ajattelun taitoja. Wang ja Marsh 2002b, s. 174. Wangin ja Marshin tutkimuksen lopputulos (37 opettajan haastattelumateriaali) oli, että kontekstuaalisella luonnontieteen historialla voidaan saavuttaa "parempaa luonnontieteen kehityksen" ymmärrystä. Heidän mukaansa luonnontieteen historiassa on pyrittävä kontekstuaalisuuteen, jonka lähtökohtana voidaan käyttää "tarina- ja suurmieshistoriaa". Myös Fanny Seroglousin, Panagiotis Koumarisin ja Vassilis Tsselfsin tutkimuksessa History of Science and Instructional Design The Case of Electromagnetism, Science Education 1998, tutkittiin oppilaiden toisenlaisia ("alternative") tai "vaihtoehtoisia" (Viiri 1995) käsityksiä luonnontieteen ideoista ja tutkijat havaitsivat niiden muistuttavat luonnontieteen historian varhaisia vaiheita. Allan R. Irwin (1997) käytti historiallisena tapauksena phlogistonteoriaa, joka oli kemian paradigma ennen Lavoisieria. Huann-shyangin tutkimuksessa Using the history of science to promote students' problem-solving ability, International Journal of Science Education, 2002, käytettiin historiallisena materiaalina Torricellia ja Boylea (ilmanpainemittaukset) sekä Daltonia (atomismia). Tutkimuksen tarkoituksena oli edistää oppilaiden ongelmanratkaisukykyä luonnontieteissä historiallisten case-tapausten avulla. Nämä esimerkit ovat tyypillistä luonnontieteen historian internalistisista käyttöä (HPS). Geologian historian esimerkkejä "kontekstualismista" ovat Renee M. Claryn ja James Wanderseen (2010) tutkimus, jossa he käyttivät vuosina 1788–1840 piirrettyjä sanomalehtien karikatyyrikuvia luonnontieteen käsityksen syventämiseen. Tuloksena oli oppilaiden parantunut käsitys luonnontieteestä ja "oppimisnautinnon" lisääntyminen. Myös Thompson, Prena ja Luis (2000) opettivat geologian vallankumousta pitkänä historiallisena aikajaksona. Lin Chen (Promoting Chemistry Teachers' Understanding about the nature of Science Through History, Journal of Research in Science Teaching 2002, s. 463) mukaan luonnontieteen historian käytöstä oli hyötyä, mutta lisätutkimuksia tarvitaan oppimishäydyn varmistamiseksi.

⁹² Douglas Allchinin (2011) mukaan tieteen luonteen kehittäminen vaatii KNOWS-piirteiden (Knowledge of the Whole Nature of Science) opettamista. Tämä tarkoittaa HPS- ja STS-opetuksen yhdistämistä. Allchinin oma esimerkki on kurssista, jossa on erityisesti käytetty biologian historiaa KNOWS-piirteiden syventäjänä. (Allchin, Evaluating knowledge of the nature of (whole) science, Science Education 2011, s. 518–542.

⁹³ Judith Bennett, Fred Lubben ja Sylvia Hogart (Bringing Science to Life: A Synthesis of the Research Evidence on the Effects of Context-Based and STS Approaches to Science Teaching, Science Education 2007, s. 347–370) ovat tutkineet käytännön luonnontieteen opetuksessa käytettyä 17 STS-tapausta, jotka kaikki liittyvät luonnontieteen nykytutkimukseen. Allchin (2011) on käyttänyt biologian ja lääketieteen case-tapauksia 1800-luvun lopulta nykyaikaan STS-opetukseen.

sesti mitattu, miten historiallinen STS-opettaminen vaikuttaa opiskelijoiden käsityksiin luonnontieteen luonteesta. Luonnontieteen opetustutkimuksen STS-tapaukset keskittyvät historiallisesti lähinnä 1900-luvun jälkipuoliskolle. Erityinen painopiste nykyisessä opetustutkimuksessa on luonnontieteen ja *etiikan* suhde.⁹⁴

Jos STS -historiaa aiotaan käsitellä opetuksessa, täytyy luonnontiede sijoittaa laajasti kulloiseenkin historiallis-yhteiskunnalliseen tilanteeseen. Luonnontieteiden opetuksessa tätä ei ole mielekäästä useinkaan tehdä, koska se veisi opetuksen liian kauas varsinaisesta luonnontieteen opettamisen ydinsubstanssista.⁹⁵ Oppiaineena historia (myös yhteiskuntaoppi) sen sijaan sopii luontevasti STS-kontekstualismin paikaksi.

2.5.3 LUONNONTIETEEN HISTORIAN OPETTAMISEN VAIKUTUS TIETEEN LUONTEEN KESKEISTEN PIIRTEIDEN SYVENTÄMISEEN

Luonnontieteen historian opetuksellisia kokeiluprojekteja luonnontieteen opetuksessa kutsutaan lyhyesti HOS-projekteiksi (History of Science). Niillä tarkoitetaan tutkimuksia, joissa luonnontieteen historian opetusmateriaalia käyttämällä on pyritty vaikuttamaan luonnontieteiden sisältöjen oppimiseen tai muuten vaikuttamaan positiivisesti oppilaiden asenteisiin luonnontieteitä kohtaan. Luonnontieteen historian nosti luonnontieteen opetuksen ytimeen fyysikko ja tieteenfilosofi Ernst Mach 1900-luvun vaihteessa. Hänen pedagoginen ajattelunsa ja luonnontieteen historiasta kehittämänsä esimerkit olivat vuosikymmeniä materiaalina luonnontieteen historian opetuskäytölle. Luonnontieteen historian opetuskokeiluja on tehty 1950-luvulta lähtien. Varhaiset projektit olivat akateemisesti kunnianhimoisia: *Harvard Case Histories in Experimental Science* (Conant 1957) ja *Harvard Project Physics Course* (Holton et al. 1970). Ne oli tarkoitettu college-tasoisille opiskelijoille ja opettajankoulutusohjelmiin.⁹⁶ Klopfer ja Cooley (1961) puolestaan käyttivät HOS-materiaalia lukiotason opetukseen. He kehittivät kahdeksan HOS-tapausta luonnontieteen opetukseen. Tapaukset oli tarkoitettu luonnontiedettä ”rikastavaksi materiaaliksi”. Materiaali sisälsi tietoa keksinnöistä, tiedemies-ten elämäkertoista ja filosofisista käsityksistä. Opetustutkimuksen tulos oli, että luonnontieteen historialla on merkittävä positiivinen vaikutus luonnontieteen metodien ja luonnontieteen tavoitteiden ymmärtämisen edistämiseen.⁹⁷ Vaikka edellä mainittuja projekteja on pidetty sinällään onnistuneina, ne eivät kuitenkaan saaneet jatkoa.

⁹⁴ Science & Education -lehti on julkaissut etiikasta ja luonnontieteen historiasta erityisen teemanumeron 2008/3.

⁹⁵ Science & Education -lehden käytännön luonnontieteen historian opetuskokeilut ovat lähes kaikki HPS-tyyppisiä. Niiden avulla voidaan valaista teorioita, käsitteitä ja niiden muutoksia. Luonnontieteen opetustutkija David Allchinin artikkelit ovat poikkeuksia, koska niissä on sekä HPS -opetusta että STS -opetusta. Allchinin kokeilujen kohteena ovat olleet erityisesti biologian ja lääketieteen historia. Michael R. Matthews luonnontieteen historian opetusoppaan Science Education (1994) sisällössä STS -opetus on vain lyhyenä mainintana (Matthews 1994, s. 46–47).

⁹⁶ Näissä kokeiluissa yhdistettiin historialliset klassikkokokeet ja historialliset narratiivit. Tällä perinteellä on ollut jatkajia, esim. Elisabeth Cavicchi (Historical Experiments in Students’ Hands: Unfragmenting Science through Action and History, Science & Education 2006). Cavicchi sovelsi 1800-luvulla käytettyjä historiallisia kokeita sähköisten ilmiöiden opettamiseen. George Johnson on puolestaan koonnut historiasta kymmenen luonnontieteen historian ”kauneinta” koetta kirjaan The Ten Most Beautiful Experiments (2008). Kokeiden kauneus piilee niiden käsitteellisessä oivaltavuudessa, ja niitä voi käyttää opetuksessa ilman varsinaisia laboratorionkokeita.

⁹⁷ Varhaiset HOS-kokeilut Yhdysvalloissa, Britanniassa, Saksassa, Italiassa ja Tanskassa on kartoitettu Michael R. Matthews kirjassa Science Teaching 1994, s. 54–60.

Luonnontieteen historian uusi tuleminen alkoi, kun luonnontieteen historian käyttö tieteen luonteen opetustutkimuksessa alkoi 1990-luvulla.⁹⁸ Englannissa luonnontieteen opetustutkija Joan Solomon teki kumppaneineen luonnontieteen historian kokeilun kolmessa koulussa. Siinä luonnontieteen historiaa sisällytettiin opetussuunnitelmaa noudattaen soveltuvasti luonnontieteiden opetukseen. Tutkimuksen tulos oli, että luonnontieteen historia auttoi oppilaita ymmärtämään tieteen luonnetta.⁹⁹

A. R. Irwin (1997) puolestaan käytti kemian opetuksessa 1700-luvun historiallista phlogiston-teoriaa¹⁰⁰ tieteen luonteen opetukseen. Tutkimuksessa toistettiin vanhoja historiallisia kokeita. Irwinin mukaan kokeilu johti yksiselitteisesti parempaan NOS-tietämykseen. Irwin jatkoi uudessa kokeilussa (2000) oppilaiden NOS-tietämyksen mittaamista. Hän kehitti kahdelle luokalle kaksi opetuslinjaa, jotka olivat:

1. historiallinen teemaryhmä, jossa opetettiin kontekstuaalisesti kemian teorianmuutoksia,
2. ”final form” -vertailuryhmä, jossa kemia opetettiin sen nykyisessä teoreettisessa muodossa.

Haastattelujen ja kvalitatiivisen tutkimuksen mukaan historiallisen ryhmän opiskelijat:

- (a) saivat paremman käsityksen siitä, miten luonnontieteellinen tieto lisääntyi,
- (b) arvostivat enemmän tiedemiesten mielikuvitusta ja luovuutta,
- (c) käsittivät, että luonnontiede ei ole staattinen joukko faktoja ja periaatteita.

Historian käyttö opetuksessa antoi Irwinin mukaan oppilaille luonnontieteestä paremman kokonaiskäsityksen. Luonnontieteen sisältöjen oppimisessa ei ollut eroja ryhmien välillä. Kokeilun tekijät uskoivat kuitenkin, että opiskelijoilla olisi kurssin ansiosta tulevaisuudessa varmempi käsitys luonnontieteen käsitteistä ja että luonnontieteen historiaa voitaisiin käyttää ennakoimaan ja poistamaan niitä vaikeuksia, joita oppilailla on luonnontieteen ideoiden ja käsitteiden ymmärtämisessä.¹⁰¹

Luonnontieteen historian käytöstä tieteen luonteen opetukseen raportoidaan yleensä innostuneesti. Tuloksia leimaa kuitenkin epämääräisyys, sillä ei tiedetä, mikä luonnontieteen historian sisällöissä vaikuttaa opiskelijoihin. Kuten edellä todettiin, käsitteet ”luonnontiede” ja ”luonnontieteen historia” voidaan ymmärtää Ludwig Wittgensteinin tapaan perheyhtäläisyyskäsitteiksi. Luonnontieteen historian kokeiluissa ”luonnontieteen historia” ymmärretään usein

⁹⁸ Luonnontieteen opetuksen tutkija Joan Solomon on toiminut vuodesta 1989 lähtien Nature of Science -kirjasarjaa luonnontieteen historiasta luonnontieteen opetukseen. Sarjassa on pitkäjänteisiä leikkauksia länsimaisen luonnontieteen historiasta. Teemoina ovat mm. ilma, ilmanpaine, pumput, verenkierto, sähköiset ilmiöt ja astronominen kehitys. Toisaalta sarjassa on myös yhteiskunnallista kontekstuaalisuutta: löytöretket ja tiede, sekä bakteerit ja Louis Pasteur. Pienissä opiskelukirjasissa liitetään tiede sekä HPS- että STS-opetukseen.

⁹⁹ Joan Solomon, J. Scot ja L. McCarthy, Teaching about the Nature of Science through History: Action research in Classroom, Journal of Research in Science Teaching 1992, s. 418: ”There is a significant move away from serendipitous empiricism and towards an appreciation of the interactive nature of experiment and theory.”

¹⁰⁰ Teoria oletti phlogiston-nimisen palamista aiheuttavan alkuaineen olemassaolon.

¹⁰¹ A.R. Irwin, Historical Case Studies: Teaching the Nature of Science in Context, Science Education 2000, s. 5–26.

tarkasti määräytyneeksi kokonaisuudeksi. Kokeiluissa voidaan kuitenkin painottaa luonnontieteen historian sisällöistä melkein mitä tahansa sisältöaluetta millä tahansa tulkinnalla. H. Seker ja L.C. Welsh pyrkivät opetuskokeilussaan *The Use of Mechanics in Teaching Motion and Force Unit* (2006) tällaisen epämääräisyyden vähentämiseen ja tarkempiin tutkimustuloksiin. Heidän mukaansa aiemmissa tutkimuksissa luonnontieteen historian toisiinsa sekoittuneet komponentit olivat häirinneet toisiaan mittaustilanteessa. He jakoivat omassa tutkimuksessaan opetettavan luonnontieteen historian komponentteihin. Jaotuksella he pystyivät mielestään arvioimaan tarkemmin, mikä osa luonnontieteen historiasta oli toimivaa opetuksen kannalta. Tutkittavat kolme komponenttia olivat seuraavat:

1. Ensimmäiseksi opetettiin oppilaille luonnontieteen historiaa suhteessa oppilaiden omiin "vaihtoehtoihin" näkemyksiin luonnontieteen käsitteistä. Haluttiin tutkia, vaikuttiko luonnontieteen historiallinen näkökulma a) oppilaiden luonnontieteen oppimiseen, b) oppilaiden NOS-käsityksiin ja c) oppilaiden kiinnostukseen luonnontieteitä kohtaan.
2. Toisessa komponentissa Seker ja Welsh pyrkivät syventämään oppilaiden käsityksiä luonnontieteellisestä tutkimuksesta. Opettajat johtivat keskustelusesioita tiedemiesten tutkimustavoista. Haluttiin tutkia, vaikuttivatko keskustelut opiskelijoiden edellä mainitun kolmen näkökulman (1. kohdan a, b ja c) syvenemiseen.
3. Kolmanneksi opetuksessa käytettiin lyhyitä kertomuksia tiedemiesten elämästä. Haluttiin tutkia, vaikuttiko luonnontieteen historian kertomusten käyttö opiskelijoiden edellä mainittujen (1. kohdan a, b ja c) kolmen näkökulman syvenemiseen.

Positiiviset vaikutukset ensimmäisessä ja toisessa kohdassa olivat havaittavia, mutta ne olivat kuitenkin pieniä. Vaikuttavin osa oli tiedemiesten elämää koskevat pienet kertomukset. Näitä kertomuksia opiskelijat muistivat erittäin paljon. Tämä tulos vahvisti käsityksiä kertomusten voimasta opetuksessa.¹⁰²

Fouad Abd-El-Khalick ja Norman G. Lederman ovat tehneet useita tieteen luonteen opetuksen tutkimuksia soveltaen niihin erilaisia opetusmateriaaleja. Kaikissa tutkimuksissa on luonnontieteen historian opetuksen sovelluksilla, sekä HPS- että STS-materiaaleilla, ollut tärkeä sija. Yleisesti Abd-El-Khalick ja Lederman käyttävät viittia tieteen luonteen teemaa, joita he pyrkivät syventämään luonnontieteen historian opetusmateriaalin avulla.¹⁰³ He tutkivat kolmen erillisen luonnontieteen historian kurssin vaikutuksia opiskelijoiden ja opetusharjoittelijoiden NOS-käsityksiin. Tulokset olivat vastoin intuitiivisia ennakko-oletuksia: luonnontieteen historian opetus ei välttämättä parantanut opiskelijoiden käsityksiä tieteen luonteesta.

¹⁰² H. Seker ja L.C. Welsh, *The use of Mechanics in Teaching Motion and Force Unit*, Science and Education, Science & Education 2006, s. 55–89.

¹⁰³ Abd-El-Khalickin ja Ledermanin (2000a) artikkeli oli nimeltään *The Influence of History of Science Course on Students' Views of Nature of Science*. Heidän käyttämänsä teemat kokeilukurssilla olivat seuraavat: 1. Luonnontieteessä on muuttuvuutta (ja pysyvyyttä). 2. Luonnontiede perustuu empiirisiin havaintoihin. 3. Tieto on teoriapitoista. 4. Luonnontiede perustuu osittain inhimilliseen päättelyyn. 5. Luonnontiede on perustaltaan sosiaalista ja kulttuurista. Kolmessa kurssissa yhdistävinä historiallisina teemoina olivat: 1) tieteelliset kiistat, 2) 1600-luku, ja 3) evoluutioteorian synty sekä historian avulla opettavat luonnontieteelliset metodit. Abd-El-Khalick ja Lederman 2000a, s. 1057–1095.

Historialliset esimerkkitapaukset eivät vaikuttaneet pysyvästi, vaan opiskelijat liukuivat vanhoihin käsityksiin tieteen luonteesta.¹⁰⁴

Edelleen Abd-El-Khalick ja Lederman tutkivat, miten luonnontieteen opettajat ja opetusharjoittelijat käyttävät luonnontieteen historiaa tieteen luonteen syventämiseen. He käyttivät luonnontieteen historiaa varsinaisen luonnontieteen kurssiopetuksen lisänä, aina sisällöllisesti sopivassa kohdassa valaisemaan tieteen luonnetta. Oletuksena oli, että opiskelijat oppivat tieteen luonnetta ikään kuin luonnontieteen opetuksen sivutuotteena. Tätä menettelyä nimitetään *implisiittiseksi* tieteen luonteen opettamiseksi.¹⁰⁵ Implisiittistä opetusta seuraavassa kokeilussa tieteen luonteen teemoja pohdittiin ja opetuksessa käytettiin luonnontieteen historiaa keskustelujen materiaalina. Opetus oli nyt irrallaan luonnontieteen perusopetuksesta ja siinä opetettiin erityisesti NOS-sisältöjä eli opetus oli *eksplisiittistä* tieteen luonteen opetusta. Abd-El-Khalickin ja Ledermanin mukaan vain eksplisiittinen opetus näytti tuottavan hedelmällisiä tuloksia tieteen luonteen oppimisessa.¹⁰⁶

Abd-El-Khalickin ja Ledermanin mukaan luonnontieteen teorioiden käsitteelliset muutokset ovat erittäin vaikeita ja vaativat opetuksessa paljon vaivannäköä. Opetusmateriaalin on oltava haastavaa ja sen on tarjottava opiskeluun hyviä pedagogisia lähtökohtia. Luonnontieteen historian materiaali on paljolti opetukseen huonosti sopivaa. Abd-El-Khalick, Lederman ja muut työryhmän jäsenet eivät olleet varsinaisesti historioitsijoita. He olivat kuitenkin mukana Science & Education -lehden toimituskunnassa. Heidän mukaansa luonnontieteen historian opetukseen on saatava historiallista syvyyttä ja opettajien tulisi ymmärtää, ettei luonnontieteen historiaa voida ongelmitta käyttää luonnontieteen opetukseen, vaan luonnontieteen historia on kehittynyt tieteenala jonka tulkinnoissa opettajien on nähtävä vaivaa: ”Luonnontieteen opetuksen tutkijoiden olisi ymmärrettävä, että luonnontieteen historia on oma tieteenalansa, jolla on omat tavoitteensa ja tiedolliset prioriteettinsa.”¹⁰⁷

Vuonna 2005 Fouaid Abd-El-Khalick jatkoi eksplisiittisen NOS-tutkimuksen kehittelyä. Abd-El-Khalick pyrki laajalla ns. POS-ohjelmalla (philosophy of science) syvällisesti ja py-

¹⁰⁴ Abd-El-Khalick ja Lederman 2000a, s. 1086.

¹⁰⁵ Abd-El-Khalick ja Lederman 2000b, s. 696.

¹⁰⁶ Eräiden tutkimusten mukaan implisiittisellä opetuksella ei saavuteta hyviä NOS-tuloksia (Abd-El-Khalick & Lederman 2000b; Khishfe & Abd-El-Khalick 2002). Vastakohtana implisiittiselle on eksplisiittinen NOS-opetus. Tällöin opetus on erityisesti laadittu NOS-teemojen opettamista varten. (Lederman 1998; McComas 1998; Abd-El-Khalick & Lederman 2000a; Akerson et al. 2000; Bell et al. 2003; Khishfe & Abd-El-Khalick 2002). Tämä ei merkitse välttämättä NOS-teemoista luennoimista. Opetustuokioiden suunnitteluaan vain erityisesti NOS -teemoja silmällä pitäen. Eksplisiittiseen opetukseen liitetään vielä refleksiivinen (keskusteleva ja pohtiva) teemojen tarkastelu, jossa opettaja luo yhteyksiä käytettyjen opetusaktiviteettien ja NOS-teemojen välille (Khishfe & Abd-El-Khalick 2002). Tutkimukset tukevat käsitystä, että tällainen eksplisiittinen opetustapa on tehokas NOS-teemoja opettaessa (Abd-El-Khalick et al. 1998; Abd-El-Khalick & Lederman 2000a; Akerson et al. 2000; Khishfe ja Abd-El-Khalick 2002 ja Rudge ja Howe 2007). Jos opetustavaksi valitaan implisiittinen lähtökohta, virheelliset NOS-käsitykset saattavat jäädä huomaamatta, ja tutkimuksissa on havaittu, että niiden muuttaminen on hyvin vaikeaa. Virheelliset NOS-käsitykset saattavat opetuksen aikana jopa vahvistua. Akersonin tutkimusryhmä törmäsi samanlaiseen pysyvään muutoksen vaikeuteen (Valerie Akerson, Judith Morrison ja Amy Roth McDuffie, One Course Is Not Enough: Preservice Elementary Teachers’ Retention of Improved Views of Nature of Science, Journal of Research in Science Education 2006). Akersonin ryhmä opetti 19:sta ala-asteen opettajalle ja opetusharjoittelijoille NOS-sisältöjä. Vaikka ryhmä edistyi NOS-käsityksissään, jonkin ajan jälkeen useat palasivat vanhoihin näkemyksiinsä. Eksplisiittisessä ja reflektiivisessä NOS-opetuksessa puututaan opiskelijoiden virheellisiin käsityksiin ja niitä pyritään muuttamaan.

¹⁰⁷ Abd-El-Khalick 2000a, s. 1089. Myös luonnontieteen historian tutkijat Graeme Gooday, John Lynch, Kenneth Wilson ja Constance Barsky korostavat sisällöllistä tarkkuutta luonnontieteen historian opetusikätyössä artikkelissaan Does Science Education Need the History of Science, Isis 2008, s. 330.

syvästi vaikuttamaan luonnontieteen opettajien käsityksiin tieteen luonteesta. Abd-El-Khalick oli ottanut huomioon aiemmat epäonnistumiset, ja kurssi järjestettiin opettajille erityisen intensiivisesti.¹⁰⁸ Käytetty materiaali oli laaja, sitä käsiteltiin eksplisiittisesti ja sitä pohdittiin yhteisesti useaan otteeseen.¹⁰⁹ Filosofaa korostavasta POS-nimikkeestä huolimatta kurseilla käytettiin laajasti luonnontieteen historiaa, tieteenfilosofiaa ja tieteen sosiologiaa. Tulokset olivat nyt kautta linjan rohkaisevia, sillä opettajien käsitykset tieteen luonteesta todellakin syvenivät. Tulos on rohkaiseva, mutta samalla masentava: todellinen muutos edellytti laajoja HPS- ja STS-interventiota ja lisäksi jatkuvaa NOS-teemojen tarkastelua. NOS-teemoja ei pidä opettaa nopeasti ylimääräisenä opetuksen lisänä, jonka jälkeen siirrytään oppiaineen varsinaiseen sisältösubstantssiin. NOS-tavasta ajatella pitää tulla opetuksen toinen luonto. Tässä mielessä paluu sokraattiseen, merkityksiä pohtivaan opetukseen on välttämätöntä (Clough 2006; Taber 2006).¹¹⁰ Siten esimerkiksi Dietmar Höttecken, Andreas Henken ja Falk Riessin (2012) HIPST-projektissa HPS-opetuksessa kokeiltiin luovaa kirjoittamista, eläytymistä tutkijan rooliin, historiallisia simulaatioita ja historiallisia koejärjestelyjä, ja erityisenä opetuksellisenä uutuutena oli *pedagoginen reflektionurkka*. Nurkassa opiskelijat pohtivat asiantuntijoiden avustuksella oppimaansa ja luonnontieteen historiallista luonnetta.¹¹¹ Tällaiseen ”syväoppimiseen” luonnontieteen historialliset HPS -tapaukset tarjoavat hyvät mahdollisuudet. HIPST-projekti on vasta alussa, eikä lopullisia tuloksia ole käytettävissä. Myös Fouaid Abd-El-Khalickin tutkimuksessa kriittinen testi on jäänyt tekemättä: miten opettajien syvempi kuva siirtyi *tavalliseen luokkahuoneopetukseen*?

Luonnontieteen opetustutkijat ovat alkaneet käyttää luonnontieteen historiaa luonnontieteen *yleiskuvan* opettamiseen. Opiskelijoiden tulee tämän näkemyksen mukaan oppia luonnontieteen kulttuurisisältöjä.¹¹² Yhteenvedona luonnontieteen historian NOS-tutkimuksista voidaan sanoa, että lupaavimmat tutkimukset ovat käyttäneet kolmea pedagogista luonnontieteen historian näkökulmaa, jotka ovat:

¹⁰⁸ ”Tutkimus osoittaa, että melkoisen syvälinen NOS-taso voidaan saavuttaa ja tieteenfilosofian kurssi voi viedä opettajat oikealle uralle tuon päämäärän saavuttamiseksi... tyydyttävän käsityksen tieteen luonteesta saavuttaminen edellyttää riittävää kurssin laajuutta... luonnollisesti luonnontieteen historia ja tieteenfilosofia ovat sisältöjä, jotka rikastuttavat luonnontieteen opettajien NOS -käsitystä.” Fouad Abd-El-Khalick, Developing deeper understandings of nature of science: the impact of a philosophy of science course on preservice science teachers’ views and instructional planning, *International Journal of Science Education* 2005, s. 38.

¹⁰⁹ Tutkimuksessa (Abd-El-Khalick 2005, s. 15–42) tieteen luonteen syventämiseen tarkoitettu kurssimateriaali sisälsi seuraavat luonnontieteen historian ydinsisältöihin kuuluvat teemat: induktio ja sen epäonnistuminen, bayesilainen logiikka, popperilainen falsifointitulkinta ja sen epäonnistuminen, Duhem–Quine-teesi ja alimääräytyvyys (underdetermination) -teesi, havainto, teoria ja yhteismitattomuus: Kuhnin normaalitiede, vallankumoukset, niiden ratkaisut ja kehitys tieteessä, Kuhn ja Kuhnin kritiikki, kehittynyt falsifointikäsitys, empirismi ja realismi, tiede ja pseudotiede, tiede sosiaalisena tulkintana ja feministinen näkökulma tieteeseen.

¹¹⁰ Keith Taber, Towards a Curricular Model of the Nature of Science, *Science & Education* 2006; M. P. Clough, Learners’ Responses to the Demands of Conceptual Change: Considerations for Effective Nature of Science Instructions, *Science & Education* 2006.

¹¹¹ Dietmar Höttecke, Andreas Henke ja Falk Riess, Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project, *Science & Education* 2012, s.310. Samanlainen monen opettajan reflektionurkka on ollut myös käytäntönä Helsingin normaalilyseon tiedekursseilla.

¹¹² Igal Galilin (2012) HPS-projektin tavoitteena on fysiikan parantunut yleiskuva (The Big Picture of Physics), jolloin opiskelijoille opetetaan luonnontieteen kulttuurinen sisältö (Cultural Content of Knowledge). Tämä merkitsee, että luonnontiede tulkitaan yhteiseksi maailmankuvaksi ja toimintatavoiksi. Tieteen sosiaaliset merkitykset tulevat luonnontieteen historian kautta opetettaviksi sisällöiksi. Galili, Promotion of Cultural Content Knowledge Through the Use of the History and Philosophy of Science, *Science & Education*, 2012, s.1233-1261.

1. Internalistinen luonnontieteen historia eli HPS-opetus
2. Eksternalistinen näkökulma eli STS-opetus
3. Luonnontieteen henkilöhistoriaan liittyvät kertomukset.

Tieteen luonteen ymmärtämistä pidetään suurimpana luonnontieteen historian opetuksen hyötynä.¹¹³ Tieteen luonteeseen liittyvien teemojen opettamisen on oltava eksplisiittistä. Niitä ei voi opettaa tehokkaasti upottamalla NOS-teemat varsinaiseen luonnontieteen sisältöön. Luonnontieteen historian kannalta tulos ei ole yllättävä, sillä tieteen luonteen teemat ovat kolmen vuosisadan (ja oikeastaan vielä pidemmänkin ajan) luonnontieteen historian, tieteenfilosofian ja tieteensosiologian tutkimustulosten tiivistymiä. Tieteen luonne koskee luonnontieteen kehityksen vaikeita ydinkysymyksiä, joista tiedemiehet kiistelevät nykyäänkin. On luonnollista, että niiden siirtyminen opettajien, opetusharjoittelijoiden tai oppilaiden ajatustapoihin on vaikeaa.

¹¹³ Tieteen luonne eli NOS oli yksi lähtökohta tämän väitöstutkimuksen alussa, mutta siitä luovuttiin, koska se vei tutkimusta pois historian opetuksesta, joka on työn varsinainen kehittämiskohde.

3. LUONNONTIETEEN HISTORIAN TIE- DEYHTEISÖN KANNANOTTO LUON- NONTIETEEN HISTORIAN OPETUKSEN SISÄLTÖÖN

3.1 KESKUSTELU LUONNONTIETEEN HISTORIAN YLEISKUVASTA ELI ”BIG PICTURE” - KUVASTA

Luonnontieteen opetuksessa on syntynyt kaksi perinnettä, HPS- ja STS-opetus, jotka käyttävät luonnontieteen historiaa opetuksellisiin tarkoituksiin. Yhteisenä päämääränä on parantaa opiskelijoiden käsitystä tieteen luonteesta. Tässä luvussa tutkitaan luonnontieteen historian tutkimusyhteisön suhdetta luonnontieteen historian opettamiseen. Aina 1990-luvun lopulle asti ei luonnontieteen historian tutkimusyhteisössä ollut erityisemmin pohdittu, mitä luonnontieteen historiasta tulisi opettaa opiskelijoille tai suurelle yleisölle. Nykyisin tämä pohdinta on vilkasta ja sitä kutsutaan luonnontieteen historian ”Big Picture” -problematiikaksi. Tässä tutkimuksessa siitä käytetään nimitystä *luonnontieteen historian yleiskuva* -problematiikka.

Luonnontieteen historian oppiala laajeni ja sai vakiintuneen akateemisen aseman 1900-luvun alussa. Vuosisadan alussa luonnontieteen yhteydet tieteenfilosofiaan olivat kiinteät.¹¹⁴ Tutkimusten määrä kasvoi voimakkaasti 1970-luvun lopulla ja tutkimuksen laajeneminen koski erityisesti luonnontieteen historian sosiaalisia аспекteja.¹¹⁵ Samalla luonnontieteen historia spesialisoitui niin, että tutkijat eivät enää kirjoittaneet yleistä luonnontieteen historiaa vaan omista kapeista tutkimussektoreistaan.¹¹⁶ Fysiikan valta-asema luonnontieteen historian sydämenä hiipui 1960-luvulla, eikä tieteen ”suuri vallankumous” hallinnut enää tutkimusta. Sosiologia alkoi riistää tieteenfilosofian asemaa luonnontieteen historian läheisimpänä tieteenalana. David Kaiser osoittaa artikkelissaan *Training and the Generalist’s Vision in the History of Science* (2005) tutkimuksen kasvun ja erikoistumisen analysoimalla luonnontieteen historiasta valmistuneita väitöskirjoja vuosilta 1974–2000. Tilastot osoittavat tutkimuksen huomattavan volyymin kasvun sekä fysiikan valta-asema häviämisen. Eri tieteenalat sekä myös aivan uudet näkökulmat näkyvät väitöskirjojen tutkimusteemoissa. Tieteen vallanku-

¹¹⁴ Luonnontieteen historioitsija Robert Kohler kirjoittaa (A Generalist’s Vision in the History of Science, Isis 2005, s. 226): ”When history of science was the history of ideas, philosophical issues of evidence and inference served as a general guide to our common labors, as did questions of the role of science in social progress.”

¹¹⁵ John Heilbron, Applied History of Science, Isis 1989, s. 552. Robert Kohler kirjoittaa: ”Thomas Kuhn’s vision of recurring revolutions, each different in subject but all sharing a common social and intellectual dynamic, was a powerfully concentrating force. So, for others, was the contemporaneous sociology of science (or scientists), of which Robert Merton and Joseph Ben-David were leading exponents”. (Kohler, A Generalist’s Vision in the History of Science, Isis 2005, s. 226. Theodore M. Porterin mukaan (How Science Became Technical, Isis 2009, s. 295–296) 1960-luvulta lähtien luonnontieteen historia jakautui Koyrén filosofiseen luonnontieteen historiaan ja Edgar Zilselin ja Thomas Kuhnin aloittamaan virtaukseen, jossa luonnontiede tulkittiin normaalitieteeksi, ”as craftlike in its day-to-day’ conduct’.”

¹¹⁶ Ilmiö on erityisesti esillä Generalists Vision Focus teemanumerossa, Isis 2005, johon kirjoittivat artikkeleita Steven Shapin, Peter Dear, Kathryn Olesko, Robert Kohler ja Paula Findlen.

mous 1500–1700 on jäänyt taka-alalle, ja tutkimuksen painopiste on siirtynyt ajalle 1800–2000.¹¹⁷ Luonnontieteen historian uusiksi tutkimuskohteiksi otettiin ”jokamiesluokan” tutkijat, koejärjestelyt, luonnontieteen marginaali-ilmiöt, luonnontieteen ”hiljainen tieto”, kilpailevat teorit, väärät teorit, petos tieteessä, tieteen (rakennusten) arkkitehtuuri sekä mikrohistorialliset tapaustutkimukset.¹¹⁸ Luonnontieteen historian tutkimus laajentui luonnontieteen *kulttuurintutkimukseksi*. Tällöin lähdemateriaaleina saatettiin käyttää uusia ja tutkimuksellisesti kekseliäitä lähteitä.¹¹⁹

Tutkimusalan kehityksen kannalta tutkimuksen kasvu on ollut hyvä asia. Toisaalta tieteenalan sisäinen kiinteys on hajonnut. Steven Shapin käyttää hajoamisilmiöstä termiä ”*hyperprofessionalism*”, jolla tarkoitetaan tutkijoiden yhä suurempaa erikoistumista.¹²⁰ Ilmiö on hänen mielestään luonnontieteen historiaa jäytävä vakava sairaus, joka ilmenee luonnontieteen historioitsijoiden keskittymisenä vain omaan tutkimusalaan ja tutkijoiden kaventuneena älyllisenä mielenkiintona. Shapinin mukaan tämä sairaus on tuhoamassa luonnontieteen historian *yhteiskunnallisen merkityksen*.¹²¹

Luonnontieteen historian popularisoinneille ja oppikirjatulkinnnoille tällainen hajaannuksen tila on ollut vahingollinen.¹²² Niiden tulkinnat luonnontieteen historiasta ovat jääneet 1900-

¹¹⁷ David Kaiser, *Isis* 2005, s. 243–252.

¹¹⁸ John Heilbron 2003; Ian Golinski 1998; R.C. Olby, Cantor, G.N., Christie, J. R.R. & Hodge, J.S. 1990. Robert Kohlerin (2005, s. 228) mukaan: ”It focused attention on the general issues of social role, career, and the communal rules and customs that structure all knowledge production, whatever its particular subject matter. Similarly, the constructivist sociologists of knowledge who displaced the Mertonians from center stage focused attention on the social mechanisms that turn information into acknowledged facts. Though constructivists relied on micro case studies and insisted on the localness of knowledge, they dealt with issues of credibility, trust, and authority that are the universal elements of any science anywhere.” Theodore Porter taas korostaa (How History of Science Became Technical, *Isis* 2009, s. 297) viime vuosikymmenten luonnontieteen historian tutkimuslinjaa, joka on analysoinut kvantitatiivisesti luonnontieteellisen tutkimuksen yhteyksiä esimerkiksi filosofiaan, ammattien käytäntöihin, markkinoihin, imperialismiin, julkiseen rahoitukseen, hallintoon, vakuutuksiin, köyhyyteen, sähköistykseen, taiteeseen ja objektiivisuuteen. Yhteydet ovat osoitettavissa, vaikka perustutkimus on niin teknistä, että yhteyksien löytäminen vaatii suurta tutkimuksellista erikoistumista. Luonnontiede on Porterin mukaan poliittista, vaikka myös se on samalla teknistä ja abstraktia.

¹¹⁹ Margaret Jacobs ja L. Steward tutkivat newtonismin yhteiskunnallista vaikutusta kirjassa *Practical Matter, Newtons science in the service of industry and empire 1687–1851* (2004) laaja-alaisesti. Kun tutkimushenkilöiden ryhmä laajennetaan sekä sosiaalisesti että maantieteellisesti varsinaisten tiedemiesten ulkopuolelle, saadaan newtonismin vaikutuksesta paljon tarkempi kuva. Tällöin hahmottuu newtonismin kiinteä vuorovaikutus teolliseen vallankumouksen kanssa. Katso myös Margaret Jacob, *The Cultural Origin of the First Industrial Revolution*, (ed. Hellyer) 2003. Samanlaisen laajennuksen viktoriaanisen ajan tieteeseen tekevät Katherine Pandora ja Karen Rader artikkelissa *Science in the Everyday World, Why Perspectives from the History of Science Matter*, *Isis* 2008. James Secordin kirja *Victorian Sensation* (2000) taas avaa mahdollisuuksia yhdistää opetuksessa luonnontieteen historia 1800-luvun yhteiskunnan sosiaalishistoriaan sekä teollistumiseen, imperialismiin että yleiseen maailmankuvan muutokseen. Luonnontieteen historia on yleensä yleisesitystasolla voittajien historiaa, Secordin kirjan ”väärän” teorian historia (Richard Chambersin evoluutioteoria, joka oli 1844 kirjallinen sensaatio) avaa mielenkiintoisia näkökulmia luonnontieteen historiaan ja myös historian opetukseen.

¹²⁰ Shapin, *Hyperprofessionalism and the Crises of Readership in History of Science*, *Isis* 2005, s. 238–243.

¹²¹ Steven Shapin, joka on itse tieteesosiologian koulukuntaan kuuluva tutkija, vaatii luonnontieteen historian tutkijoita kirjoittamaan opiskelijoille ja suurelle yleisölle tarkoitettuja ”aboutness” (suunnilleen) yleisesityksiä; *Hyperprofessionalism and the Crisis of Readership in the History of Science*, *Isis* 2005.

¹²² Artikkelissa *What is the History of Science?* (*History of Today* 1985/5) John Hendry kirjoittaa, että luonnontieteen historia on jätetty mainstream-historian ulkopuolelle ja että luonnontieteen historia on palautettava sille kuulualle paikalle mainstream-historiainkirjoihin, koska se yhdessä teknologisten sovellusten kanssa on keskeinen osa sivistystä. Hendryn mukaan keskeinen syy vallitsevaan tilanteeseen on, että spesialisoitunut luonnontieteen historia ei ole pystynyt tuottamaan ymmärrettäviä yleisesityksiä. Hendry 1985, s. 40.

lunun alun tasolle. Luonnontieteen historia on hävinnyt luonnontieteen opetuksesta, ja historian oppikirjoihin se on jäänyt vanhaan reliikkimuotoon.¹²³ Luonnontieteen historian opetuksesta kiinnostuneet tutkijat havahtuivat ilmiöön jo 1970-luvulla: A.I. Sharlin, Stephen Brush, Harold Burstyn, Carla Herbert, Michael Mahoney ja Nathan Sivin kirjoittivat 1975 *Annals of Science* -lehteen artikkelin luonnontieteen historian sivistystehtävästä ja hahmottelivat luonnontieteen historian yleiskuvan sisältöjä. Stephen Brush, joka on johtavia luonnontieteen historian tutkijoita ja myös opetuskokeilija, kirjoitti 1975 *Science*-lehteen tärkeän tiedepoliittisen kannanoton luonnontieteen historian puolesta artikkelissa *Should History of Science Be Rated X?* Brushin mukaan luonnontieteen oppikirjat antoivat myyttisen kuvan luonnontieteen historiasta. Tämä kuva sisälsi kaikki mahdolliset *tyyppivirheet*.¹²⁴

Myyttisen luonnontieteen historian kuvan on ajateltu motivoivan opiskelijoita luonnontieteen tutkijoiksi.¹²⁵ Tällaiseen värväystehtävään ei realistisesta luonnontieteen historian kirjoituksesta ollut. Olisiko siis luonnontieteen historia joutanut hyödyttömänä syrjään? Brushin vastaus oli kielteinen. Myyttinen luonnontieteen historia jouti Brushin mielestä roskakoriin. Brush piti luonnontieteen historian keskeisenä tehtävänä luonnontieteen historian *kontekstuaalisuuden* korostamista. Brush painotti luonnontieteen historian internalistista puolta mutta toisaalta korosti myös luonnontieteen historian sosiaalisen ulottuvuuden merkitystä.¹²⁶ Brushin artikkelin linjaukset ovat saaneet laajan hyväksynnän historiantutkijoiden piirissä, ja artikkeli aloitti keskustelun luonnontieteen historian opetuskäytöstä.

Myös tieteenhistorian julkaisu *Isiksessa* herättiin Big-Picture -ongelmaan, kun luonnontieteen historian tutkija John Heilbron otti voimakkaasti kantaa luonnontieteen historian sivistysmerkityksen puolesta. *Isiksen* pääkirjoituksessa 1987(87:4) hän kirjaa luonnontieteen historian nykytutkimukselle kolme keskeistä painopistealuetta: yleinen kasvatus, luonnontieteen opetus ja tiedepoliittikka. Heilbronin mukaan luonnontieteen historian tutkimus oli laajentunut ja sen asema akateemisissa yhteisöissä vahvistunut 1970-luvulta lähtien. Luonnontieteen historian opettaminen oli toisaalta selkeästi vähentynyt ja luonnontieteen historian tulkinta luonnontieteen oppikirjoissa näyttä vanhanaikaiselta ja naiivilta.¹²⁷

Käytännön sisällöllisiä ratkaisuja luonnontieteen historian yleiskuvaongelmaan tarjosi englantilainen historian yleislehti *History of Today* (1985:5 ja 6) kahdessa laajassa artikkelisarjassaan. Niiden teemana oli, mitä ”tavallisen” historian kuluttajan tulisi tietää luonnontieteen historiasta eli millaiseen Big Picture -kuvaan luonnontieteen historian yleisesityksissä tulisi pyrkiä.¹²⁸ Kirjoittajat olivat vahvoja nimiä tieteenhistorian tutkimusalan edustajia internalisti

¹²³ Laajat NOS-tutkimukset osoittavat luonnontieteen historian opetuksen jälkeenjääneisyyden. Myöhemmin tässä väitöskirjassa analysoidaan suomalaisen lukion historian oppikirjoja.

¹²⁴ Luonnontieteen opetustutkija Douglas Allchin on käsitellyt laajasti luonnontieteen historian *opetuksen* tyyppivirheitä. Usein ne ovat oppikirjojen vanhentuneita tulkintoja ja tarinoita. Myös luonnontieteen opetustutkija Michael Clough luetlee oppikirjakertomusten tyyppivirheitä artikkelissa *The Story behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life in Post-Secondary Science Education*, *Science & Education* 2010, s. 6.

¹²⁵ Luonnontieteen opetustutkijat J. Solbes ja M. Traver korostavat luonnontieteen historian tätä puolta, opiskelijoiden innostamista luonnontieteen tutkijoiksi. (Solbes & Traver, *Against a Negative Image of Science: History of Science and the Teaching of Physics and Chemistry*, *Science & Education*, 2003.)

¹²⁶ Stephen Brush, *Should History of Science Be Rated X*, *Science* 1975.

¹²⁷ John Heilbron, Editorial, *Isis* 1987, s. 553.

¹²⁸ Kaksiosainen artikkelisarja: *What is the History of Science?* *History of Today* 1985, numerot 5 ja 6. Myös Robert Young vaatii numerossa 6, että luonnontieteen historia ei saa enää olla luonnontieteen ”kulttuuriornamentti”, jolloin

A. Rupert Hallista aina luonnontieteen historian nousevaan kykyyn, tieteensosiologi Steven Shapiniin. Artikkelisarjassa näkyy luonnontieteen historiassa 1960-luvulla käyty kiista internalismin ja eksternalismin välillä. Newtonia ja newtonismia tutkinut A. Rupert Hall korostaa artikkelissaan internalistisen modernin luonnontieteen historian ydintä, astronomian ja dynamiikan kehitystarinaa. Roy Porter taas edustaa laajennettua internalismia. Hän kieltää yksinkertaisen luonnontieteen historian kehitysteesin ja ”nerotulkinnan” luonnontieteen historiassa. Tätä kapeaa tulkintaa hän kutsuu ”tunnelihistoriaksi”. Porter vaatii, että luonnontieteen historiankirjoituksen täytyy kartoittaa kehityksen historiallinen *kokonaiskonteksti*.¹²⁹ Hänen mukaansa on tutustuttava Newtonin Principian syntyprosessiin ja klassisen mekaniikan historialliseen syntyyn. Lisäksi laaja historiallinen tulkinta vaatii neoplatonismia, alkemian ja millenianistisen teologian tuntemista. Newtonin ajattelu oli Porterin mukaan kokonaisvaltaista ja sen ymmärtäminen edellytti ymmärrystä monista 1600-luvulla vaikuttaneista esoteerisista virtauksista, jotka eivät kuulu nykyiseen käsitykseen tieteellisestä rationalismista. Porterin luonnontieteen historian yleiskuvaan sisältyy myös Charles Darwinin evoluutioteoria. Newtonin ja Darwinin synteetit syntyivät vuorovaikutuksessa aikaisempaan luonnontieteen traditioon, ja lisäksi he ammensivat ideoita aikalaisilta yli tieteellisten raja-aitojen. Tällaisen laajan kokonaiskontekstin kautta muodostuu moniulotteinen kuva luonnontieteen muutoksesta.¹³⁰

John Pickstonen *History of Today* 1985/6 -lehden artikkelissa tuodaan vielä uusia ulottuvuuksia luonnontieteen historian yleiskuvaan. Pickstone haluaa, että luonnontieteen historia irrotetaan sen kiinteästä yhteydestä tieteenfilosofiaan. Hänen mukaansa varhainen moderni luonnontieteen historia on käsittehistorian kuvauksellaan virheellisesti henkistänyt luonnontieteen kehityksen. Hän vaatii filosofian sijaan käytännön ottamista mukaan luonnontieteen historian kuvaukseen. Pickstonen mukaan tekniikan (teknologian), maanviljelyksen ja lääketieteen käytäntö tulee sisällyttää luonnontieteen historian yleisesitykseen. Jos tällainen tulkinta luonnontieteen historiasta hyväksytään, myös talous- ja sosiaalishistoriallinen näkökulma sisältyvät tieteenhistorialliseen kuvaukseen. Edelleen Pickstonen mukaan historian tulkinnan on kiinnitettävä enemmän huomiota tieteen instrumentteihin. Hänen mukaansa instrumenteiksi käsitellään sekä konkreettiset instrumentit, kuten mikroskooppi ja teleskooppi, että myös suuret sosiaaliset ”instrumentit”.¹³¹ Juuri tällaista Pickstonen kaavailemaa kokonaiskuva kohti uusi luonnontieteen historia on kulkenut.

sitä harrastetaan historian pienenä alalajina. Luonnontieteen historia on asetettava sille kuuluvaan osaan, fundamentaaliseksi osaksi kulttuurihistoriaa. Young 1985/6, s. 52.

¹²⁹ Roy Porter, *The history of science and the history of society*, teoksessa toim. Olby, Christie & Hodge 1990, s. 33.

¹³⁰ Samassa artikkelisarjassa Roger Cooter korostaa luonnontieteen sosiaalisuutta ja tiedeyhteisön merkitystä. Keksimiskontekstissa ei tiedettä ja pseudotiedettä voi tarkkarajaisesti erottaa toisistaan. Maurice Crossland taas korostaa historiallista kontekstuaalisuutta ja nostaa kontekstuaalisen biografian esikuvaksi Robert Westfallin Newtonin elämäkerran *Never at Rest* (1982). Samassa artikkelisarjassa Brian Easley avaa feministisen näkökulman luonnontieteen historiaan, David Gooding taas tulkitsee laboratorioita tiedon tuotannon paikkana ja korostaa tieteen resurssien tutkimusta. Viimeiseksi Simon Schaffer ja Stephen Shapin painottavat voimakkaasti tieteensosiologian merkitystä luonnontieteen historian kokonaiskuvassa.

¹³¹ Tämä näkemys on selvästi levinnyt luonnontieteen historiassa vallitsevaksi. Luonnontiede irrotetaan yhä useammin filosofisesta analyysistä ja liitetään historiallisen ”tietokulttuurin” yhteyteen. Tällöin luonnontieteen yhteydet talouteen ja teknologiaan käyvät ymmärrettäviksi. Samalla luonnontiede irrotetaan koirélaisesta tulkinnasta (esim. James Secord artikkelissa *Science in Transit*, Isis 2004, ja Theodore Porter artikkelissa *How Science Became technical*, Isis 2009, s. 295). Pickstone, Porter ja Shapin ovat kehittäneet omaa ”Big Picture” -näkemystään juuri tähän suuntaan. Myös Peter Dear korostaa luonnontiedettä luonnonfilosofian ja käytännön (science as instrumentality) yhdistelmänä. Peter Dear, *The Intelligibility of Nature, How Science Makes Sense of the World*, Isis 2006, s. 1–14.

Monet luonnontieteen ammattihistorioitsijat kertovat, kuinka vaikeaa on kirjoittaa yleisesitystä luonnontieteen historiasta. Tutkijoiden luonnontieteen historian yleisesitysten välttelyn taustalla on vaikuttanut historian tutkimuksen ”pahimman tyyppivirheen”, presentismin pelko.¹³² Historiallinen kontekstualismi ei historian yleisesityksissä voi olla koskaan erikoistutkimusten tasolla, ja siksi yleisesityksiin ei tulisi kohdistaa erikoistutkimusten veroista kritiikkiä, sillä se karkottaa kirjoittajat. On helppo osoittaa, että jokin erikoisalue (usein kritikon oma specialiteetti) on tulkittu väärin ja että jotain keskeistä puuttuu. Oppikirjoihin kirjoitettu yleiskuva on aina presentistinen approksimaatio ja oppikirjojen palstatila rajallista. Siksi tutkijayhteisön on pohdittava, mikä on kokonaiskuvan kannalta oleellista ja siten sisällytettävä opetettavaan luonnontieteen historian yleiskuvaan.

Luonnontieteen historian tutkimusyhteisö hyväksyy yleisesti käsityksen, että luonnontieteen historian tutkijoiden olisi kirjoitettava materiaalia opetuskäyttöön. Saman toivomuksen esittävät myös tieteen luonteen tutkijat, jotka kärsivät luotettavan luonnontieteen historian opetusmateriaalin puutteesta. Vasta laajasta yleisesityskirjallisuudesta, siihen kohdistuvasta rakentavasta kritiikistä ja keskustelusta sekä laajojen luonnontieteen historiallisista opetuskokeiluista voi syntyä vahva luonnontieteen historian opetusperinne, joka voi haastaa puutteellisen, myyttisen tieteenhistorian kuvan.¹³³ Tämä opetusperinne on levitettävä opettajien käyttöön opetusharjoittelun ja opettajien täydennyskoulutuksen kautta. Luonnontieteen opetuksen tieteen luonteen opetustutkijat, etenkin Fouad Al-Khalick ja Norman Lederman, suosittavat tällaista menettelyä.

Merkittävä historiallispoliittinen kannanotto yleisesitysongelmaan oli James Secordin järjestämä luonnontieteen historian konferenssi 1993 aiheesta ”tieteen historian yleisesitykset”. Tuloksena julkaistiin *British Journal for the History of Science*-lehdessä teemanumero ”The Big Picture”¹³⁴. Samalla käsite ”The Big Picture” vakiintui luonnontieteen historian keskusteluun ja tunnustettiin luonnontieteen historian yleiskuvaongelma.¹³⁵ Käsitteellä viitataan luonnontieteen historian yleisesitysten tarpeeseen ja vaaditaan kasvatuksen asettamista erääksi tieteenhistorian tutkimuksen painopistealueeksi. Tieteenhistorian aikakausjulkaisun *Isiksen* artikkelissaan *Science in Transit* (2004) Secord kehitteli edelleen yleiskuvan edellytyksiä. Hän tunnustaa vanhan luonnontieteen historian internalistisen (eli modernin) ohjelman opetuksellinen merkityksen. Internalistiseen tulkintaan liittyy aina historianfilosofinen presentismi, mutta pedagogisista syistä sitä on siedettävä.¹³⁶ Secordin mukaan vanha internalistinen tieteen vallankumous-tulkinta luonnontieteen historiasta on ikään kuin uusien tieteen sosiologisten tulkintojen keskiössä, vaikkei modernia tulkintaa eksplisiittisesti opeteta. Usein tieteen

¹³² Nick Jardine, *Butterfield and History of Science of Today*, *History of Science* 2003/1; Nick Tosh, *Historiography, relativism and the Sociology of Scientific Knowledge*, *Studies in History and Philosophy of Science* 2006.

¹³³ John Heilbron, 2002/2, myös David Kaiser, *Isis* 2004/1. Tämä kokonaiskuva on muutoksen alainen, joten sen kehittelytyö on jatkuva prosessi.

¹³⁴ Nick Jardine, *Butterfield and History of Science of Today*, *History of Science* 2003/1. Teemanumero on vuoden 1993 *British Journal for the History of Science* -lehdessä.

¹³⁵ Andrew Cunningham ja Perry Williams (De-centering the ”Big Picture”: The Origins of Modern Science and the Modern Origins of Science 1993, s. 225, julkaistu alunperin em. BJHS teemanumerossa) vastustavat käsitteen tieteen vallankumous internalistista tulkintaa (koyrélaista) ja vaativat käsitteen tunnustamista perheyhtäläisyys käsitteeksi. Käyttökonteksti ja eksternalistinen tulkinta tulee sisällyttää tieteellisen vallankumouksen tulkintaan.

¹³⁶ Myös David Hull (*In Defence of Presentism, History and Theory*, 1979 ja *The Professionalization of Science Studies: Cutting Some Slacks, Biology and Philosophy*, 2000), Nick Jardine (*Butterfield and History of Science of Today*, *History of Science* 2003) ja Nick Tosh (2006) ovat puolustaneet opetuksellista presentismia.

vallankumous opetetaan kritiikin kautta.¹³⁷ Tällöin käsite tieteen vallankumous eri merkityksineen on jo tiedettävä, jotta ymmärtäisi siihen kohdistetun kritiikin. Toisaalta käsite tieteen vallankumous rajaa muita luonnontieteen historian käsitteitä, kuten esim. keskiajan luonnontieteen, valistuksen luonnontieteen, kemian vallankumous ja 1800-luvun ”toisen luonnontieteen vallankumouksen”. Secordin mukaan luonnontieteen historian opetuskategoriat tulisi pohtia tarkasti kokonaisuudessaan uudestaan.¹³⁸

Secordin mukaan vanha internalistinen kertomus monesta tieteen vallankumouksesta on palautettava kunniaan, mutta ei sellaisenaan. Kun tämä klassinen tarina on opetettu, opetetaan luonnontieteen historian toinen taso: perinteisen käsityksen kritiikki. Secord toteaaakin, että opiskelijoiden on opiskeltava kahdesti luonnontieteen historia: aluksi vanha tarina suurmiehinneen ja sen jälkeen vanhan tarinan kritiikki. Luonnontieteen historioitsija Paula Findlen on samaa mieltä: ”Juuri vanha luonnontieteen historian suuri kertomus vietteli minut tutkimukseen.”¹³⁹ Opetuksessa kummastakaan ei voi tinkiä. Secordin lähtökohtaa on käytetty myös tässä tutkimuksessa kehittämällä tieteen historian opetusta varten kokonaisuus, jossa on kaksi askelta:

- luonnontieteen tärkeät vallankumoukset opetetaan internalistisesti, jotta opiskelija ymmärtää luonnontieteellisen tiedon erikoisaseman,
- sen jälkeen tätä erikoisasemaa voidaan valaista, rajata ja kritisoida opiskelemalla luonnontieteen historian tärkeät sosiologiset piirteet.

Yhteenvetona kannanotoista voidaan sanoa, että ”Big Picture” -problematiikka on 2000-luvulla saanut ammattitutkijoiden taholta kasvavaa huomiota.¹⁴⁰ Luonnontieteen historian tutkimusyhteisö hyväksyy luonnontieteen historian modernin tulkinnan luonnontieteen historian opetuksessa, mutta korostaa myös tieteensosiologian merkitystä luonnontieteen historian klassisen tulkinnan kritiikkinä ja luonnontieteen historian kokonaiskuvan välttämättömänä tarkennuksena.¹⁴¹ Voidaan todeta, että luonnontieteen historian tutkimusyhteisö tukee selvästi

¹³⁷ Steven Shapinin *Revolution in Science* (1996) on tästä esimerkki. Kirja on kirjoitettu tieteen ”vallankumouksen” ympärille. Vallankumousta ei kuitenkaan ole kuvattu kirjassa.

¹³⁸ James Secord, *Science in Transit*, Isis 2004, s. 236.

¹³⁹ Paula Findlen, *The Two Culture Scholarship*, Isis Focus 2005, s. 237: ”When I first decided to focus on the history of science as an early modern historian, I did so precisely because it was the great narrative of science in this period that seduced me. I wanted to understand why knowledge of nature became such a highly contested subject in this period and what its long-term implications were for the role of science in our own society. I have been reluctant to declare the Scientific Revolution dead, not simply as a matter of pedagogical convenience, but because I cannot imagine researching any specific episode in the history of science without paying some attention to its larger meaning. It is the mammoth behind the mouse.”

¹⁴⁰ Isis 2008/2 Focus - teema-artikkelit käsittelevät samaa ongelmaa: What is The Value of History of Science? Luonnontieteen historian tutkimusyhteisö on selkeästi herännyt oman tutkimusalan yleisteen merkitykseen, ja eräs tärkeä osa tätä on luonnontieteen historian lisääntynyt merkitys luonnontieteen *opetuksessa*. Yksi polttava ajankohdista teema nousee artikkelissa esille erityisesti: *kreationismi luonnontieteen opetuksessa*. Kirjoittajat näkevät luonnontieteen historian ainoaksi järkeväksi tavaksi käsitellä kouluopetuksessa kreationismin ongelmaa. Graeme Goodayn, John Lynchin, Kenneth Wilsonin ja Constance Barskyn artikkelissa Does Science Education Need the History of Science? Isis 2008, s. 327–329.

¹⁴¹ Esimerkiksi opiskeluun tarkoitettussa Marcus Hellyerin (2003) toimittamassa kirjassa *The Scientific Revolution, The Essential Readings* (2003) rakenne on juuri edellä kuvatun kaltainen: siinä esitellään 1. modernin luonnontieteen historian tulkinnan ydin (I.B. Cohen ja R. Hoykaas), sen 2. kritiikki (S. Shapin, A. Cunningham ja P. Williams) sekä käsityksen 3. eksternalistiset täydentäjät (R.S. Westman, P. Dear, M. Jacob, W.B. Ashworth, sekä A. Debus). Myös Robert Kohler (2005) ehdottaa samanlaista rakennetta kokonaiskuvaan ”Case studies of some particular discipline,

kahdelle *luonnontieteen historian peruspilarille* (internalistinen eli HPS ja eksternalistinen eli STS) rakentunutta, tasapainossa olevaa ”Big Picture” -kuvaa. Kolmas pilari, narratiivinen, henkilöhistoriaan perustuva kertomuksellisuus, on opetuksellinen ja sen lähtökohta on luonnontieteen opetus ja luonnontieteen opetustutkimukset. Sillekin on nykyisin luonnontieteen historiassa ymmärtämystä.¹⁴²

3.2 LUONNONTIETEEN HISTORIAN YLEISESITYKSET – OPETUKSEN KÄYTÄNNÖN TUKI?

Luonnontieteen historian tutkimuksessa metodista jakoa internalismi ja eksternalismi pidetään vanhentuneena.¹⁴³ Tästä asiasta luonnontieteen historian tutkimusyhteisö on yksimielinen. Kun käytännössä rakennetaan kompaktia kokonaiskuvaa luonnontieteen historiasta, vanha tutkimuskiista internalismi-eksternalismi tulee kuitenkin konkreettisesti ajankohtaiseksi.¹⁴⁴

Luonnontieteen historian kokonaiskuvan todettiin edellisessä luvussa pirstaloituneen. Tehdesään opetuksen sisältösuunnitelmia opettajat ja opetusharjoittelijat eivät useinkaan pysty seuraamaan luonnontieteiden historian erityistutkimuksia. Niinpä opetuksen suunnittelun ja kehittämisen kannalta tärkeitä käytännön rakennuspuita ovat tutkijoiden kirjoittamat yleisesitykset (Big Picture -kuvaukset) luonnontieteen historiasta. Erikoistutkimuksissaan luonnontieteen historian asiantuntijat harvoin avaavat luonnontieteen historian ”Big Picture” -käsitteisiään siten, että niistä saisi visioita, sisältöjä tai ideoita käytännön opetukseen. Kun tutkijat sen sijaan kirjoittavat luonnontieteen historian yleisesityksiä, he joutuvat ylittämään omien spesialiteettiensa rajat ja käytännössä valitsemaan kirjan rajalliseen tilaan mielestään keskeisen luonnontieteen historian sisältömateriaalin ja antamaan sille yleistajuisen tulkinnan. Tällaiset tulkinnat ovat suoria kannanottoja kysymykseen, mitä luonnontieteen historiasta tulisi opettaa.

Yleisesitysten painotukset ja sisällöt ovat erilaisia ja ne ryhmitellään tässä tutkimuksessa neljään eri kategoriaan. Kaikilla niillä on oma käyttönsä luonnontieteen historian opetuskeiluja laadittaessa.¹⁴⁵

period, or national or local culture will always be our occupational bread and butter, and that is as it should be: a healthy discipline needs a steady diet of new data. We need not always strive to be comparative, synthetic, or global or to write for casual readers beyond our own discipline. We just need to do what we do as specialists in a way that invites comparison and synthesis, interests other specialists, and eases the labors of those rare comparatists and synthesizers. That is something every one of us can contribute to a general history of science: whatever we write we can write for all of us. That, it seems to me, is the basis of a general history of science.” Kohler, *A Generalist’s Vision in the History of Science*, Isis 2005, s. 225.

¹⁴² Mary Jo Nye, *Scientific Biography: History of Science by Another Means?* Isis 2006, ja John Cascoigne, *Getting a Fix*, Isis 2007.

¹⁴³ Marcus Hellyer käsittelee jakoa opetuksessa soveltaen sitä erityisesti käsitteeseen ”tieteen vallankumous” teoksen *The Scientific Revolution 2003* esipuheessa, s. 1–15.

¹⁴⁴ David Kaiser myös hahmottelee artikkelissaan *Generalist vision* (2005) luonnontieteen historian kahta perinnettä: internalismia ja eksternalismia. Hänen mukaansa Alexandre Koyré edustaa käsitetutkimuksineen ja rajattuine lähteapparaatteineen internalismia. Luonnontieteen historian kirjoituksessa oli 1980-luvulta lähtien luonnontieteen yleisten historian kirjoittajien aika ohi, synteetikkoja ei ole enää ollut tutkimusmielellä. Uuden kahden perinteen ylittävän tulkinnan tarve on olemassa, mutta se ei ole tutkimuksellinen, vaan Kaiserin mielestä opetuksellinen. Kaiser, Isis 2005, s. 251.

¹⁴⁵ Sopivia yleisesityksiä on etsitty systemaattisesti seuraavista julkaisuista: Isis, *History of Science, Studies in the History and Philosophy of Science* ja *Annals of Science*.

3.2.1 INTERNALISTINEN YLEISESITYSTRADIO ELI HPS (HISTORY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE) -TRADITIO

Internalistisen tradition lähtökohta on moderni: länsimainen tiede on pystynyt kehittämään yhä tehokkaampia ilmiöiden kuvausjärjestelmiä. HPS-opetuksen kehittäjien mielestä tämä ainutlaatuinen kehitys on arvokas osa kulttuuriperintöämme ja siksi sitä on myös opetettava kouluissa.

Länsimaisen, modernin luonnontieteen historian opiskeluun on syntynyt oma yleisesityssperinne. Historiantutkijan varhainen tulkinta uuden tieteen synnystä on Herbert Butterfieldin *The Origins of Modern Science* (1948).¹⁴⁶ Butterfield käyttää ensimmäisen kerran luonnontieteen historian yleisesityksien keskeisintä käsitettä, ”*tieteen vallankumous*”. Luonnontieteen historian internalistinen tutkimus on sittemmin tuonut kuitenkin paljon uusia tulkintoja luonnontieteen historiasta, joten kirja ei ole enää opetuksen kehittämisen perustaksi käyttökelpoinen.

Internalistisen luonnontieteen historian ja tieteen vallankumouksen kuvauksen klassikko on vieläkin paikkaansa puolustava A. Rupert Hallin *The Revolution in Science 1500–1750* (1954, korjattu versio 1983).¹⁴⁷ Astronomian ja klassisen mekaniikan historialliset kehitystarinat nousevat kirjassa pääosaan. Hallin kirja on puhdas aatehistoriallinen luonnontieteen teorioiden evoluution kuvaus.¹⁴⁸ Hallin suhde henkilöhistoriaan on tyypillisesti internalistinen.¹⁴⁹ Tutkijoiden elämänhistoriaa ei erityisemmin esitellä. Kopernikuksen, Brahen, Keplerin, Galilein ja Newtonin rationaalinen tutkimusote teki esityksen mukaan uuden tieteen¹⁵⁰ mahdolliseksi. Luonnontieteen historian kehityskertomus, *valistuksen suuri kertomus*, nostaa sinällään luonnontieteen historian suurmiehet esiin.¹⁵¹ Hall kertoo, ettei epäroi kirjoittaa positivistista

¹⁴⁶ Herbert Butterfield, *The Origins of Modern Science* 1948.

¹⁴⁷ Vanhemmista kirjoista S.F. Masonin luonnontieteen historian yleisteos ”Main Currents of Scientific Thought” (1956) on hyvä standarditeos luonnontieteen historian kehityksestä. Kirjassa on annettu internalistinen tulkinta luonnontieteen historian kehityksestä Egyptistä suhteellisuusteoriaan ja kvanttimekaniikkaan asti. Internalistisen tulkinnan lisäksi Mason pyrkii tasapainoon luonnontieteen ja tekniikan välisessä suhteessa, mikä on 1950-luvun kirjalle edistyskellistä. Lisäksi uutuutena (Joseph Needhamin vaikutuksesta) käsitellään kiinalaista tiedettä, vaikka kirjan pääteema on valistuksen suuri edistyskertomus luonnontieteen ja tekniikan voitokulusta länsimaisessa kulttuurissa. Masonin mukaan luonnontiede on ”ainoa todella progressiivinen juonne” historiassa. Mason 1956, s. 488. Vaikka Masonin esitys on internalistinen, niin se sisältää myös lyhyitä ”mertonilaisia” katsauksia tieteen yhteiskunnallisiin ulottuvuuksiin. Kirjassa käsitellään politiikan ongelmallisia vaikutuksia luonnontieteeseen: arjalaista tiedettä ja lysenkolaisuutta. Lysenkon tapaus oli vielä tuohon aikaan kesken ja Mason jättää tapauksen avoimeksi, hänen mukaansa se luultavasti johtaa ”neuvostomaatalouden taantumiseen, tai toisaalta jos Lysenko on oikeassa, Neuvostoliiton maatalouden suuriin edistysaskeliin.” Mason 1956, s. 487.

¹⁴⁸ Hall, kuten useat muutkin internalistit, kertovat tutkijamentorinsa olevan Aleksandre Koyré (Hall 1983, s. vii). Hallin mukaan luonnontieteen historia on kuvaus aatteista, jotka muuttavat historiankulkua ja vievät kehitystä eteenpäin (Hall 1983, s. 360). Saman vakaumuksen jakavat Robert Westfall 1981, s. 160, ja Charles G. Gillispie 1960, s. 522.

¹⁴⁹ Samantyyppinen kirja on Charles Coulston Gillispien *The Edge of Objectivity* (1960), joka aikanaan oli erittäin suosittu. Kirjassa on internalistinen kuvaus luonnontieteen voitokulusta ja edistyksestä. Gillispie painottaa comte-laista positivismia ja machilaista instrumentalismia. Gillispie 1960, s. 493–520. Katso Theodore Porter, *Is the Life of the Scientist a Scientific Unit?* Isis 2009, s. 316.

¹⁵⁰ Käsite ”uusi tiede” tarkoittaa modernia tulkintaa tieteen vallankumouksesta.

¹⁵¹ Hall 1983, s. 306–330. Hall: ”This book has been about ideas, rather than society and about particular individuals rather than anonymous masses.” s. 360.

luonnontieteen whig-historiaa (voittaneiden teorioiden historiaa), koska esimerkiksi Newtonin mekaniikka on selkeästi tarkempi ja parempi, kuin vanha aristoteelinen järjestelmä tai newtonismin karteesiolainen kilpailija 1600-luvulla.¹⁵²

Samaa internalistista perinnettä edustaa I. Bernard Cohenin *The Birth of New Physics* (1985). Kirja avaa konkreettisesti tieteen vallankumouksen ytimen astronomiasta ja klassisen mekaniikan kehityksestä. Kirja valottaa dilemmaa, joita uuden maailmankuvan synty ja sen hyväksyminen käsitteellisellä tasolla sisälsi.¹⁵³ Samaten Richard Westfallin kirja *The Construction of Modern Science* (1981) on myös perinteinen internalistinen tulkinta tieteen vallankumouksesta. Westfall analysoi tieteen vallankumousta kahden suuren idean yhdistelmänä, platonilais-pythagoralaisen (luonnolla on matemaattinen järjestys) ja karteesiolaisen mekaniisin (korpuskulaarinen teoria, jossa ilmiöt selitetään kolmen erityyppisen materian liikkeenä). Kahden luonnontieteellisen maailmankuvan osittain ristiriitaiset tulkinnat oli tärkein syy tieteen vallankumoukseen. Näin Westfall onnistuu valaisemaan tieteen vallankumousta kahden maailmankuvan, karteesiolaisuuden ja newtonismin, välisenä dialogina.¹⁵⁴ Westfallin internalistinen tulkinta tuo kompleksisuutta luonnontieteen historian kehityskertomukseen. Tieteen vallankumousta on tarkasteltava 1600-luvun lähtökohdista sen sijaan, että kirjoitetaan luonnontieteen viimeisimmän kehitystason mukaan määräytynyttä final form -historiaa.

I.B. Cohen laajentaa vallankumous näkökulmaa kirjassa *Revolution in Science* (1985). Sitä voidaan pitää tärkeänä lähtökohtana nykyiselle HPS-opetukselle. Cohen kuvaa useita luonnontieteen historian vallankumouksia. Mukaan on otettu myös marxilainen ja freudilainen vallankumous, joten teorioiden muutoksen tulkintaa viedään kulttuurihistorialliseen suuntaan. Cohen kirjoittaa luonnontieteen muutoksen kuvauksen kokonaisuudessaan vallankumousnäkökulmasta ja asettaa tälle vallankumoukselle tietyt yleiset kriteerit.¹⁵⁵

Samanlaisen laajennuksen tekee Stephen Brush kirjassaan *The History of Modern Science* (1988), joka on opetuksellinen ja internalistinen johdanto 1800- ja 1900-luvun luonnontieteen historiaan. Brushin hahmottelema toinen tieteellinen vallankumous on sisällöltään seuraava: Tärkein 1800-luvun *internalistinen, käsitteellinen mullistus* oli evoluutiokäsitteen synty ja sen soveltaminen eri elämänalueille. Jos 1700-luku oli klassisen mekaniikan ja gravitaation vuosisata, 1800-luku oli evoluution vuosisata. Sen keskeinen tutkija oli Charles Darwin. Seuraavat tieteelliset kumoukset saavat Brushin hahmotelmassa huomattavasti vähemmän tilaa.¹⁵⁶

¹⁵² Hall 1983, s.1–19.

¹⁵³ Esimerkiksi inertiakäsitteen hyväksyminen tai astronomiassa havaintopisteen vaihdos.

¹⁵⁴ “In my opinion however, the development of ideas following their own internal logic was a central element in the foundation of modern science and although I have attempted to indicate something of the sociological ramification of the scientific movement, this book expresses my conviction that history of scientific revolution is must concentrate first of all on the history of ideas.” Westfall 1981, s. 2.

¹⁵⁵ Cohen hahmottelee neljä internalistista vallankumousta, joista newtonistinen ja darwinistinen ovat kaksi ensimmäistä. Yhdistäväksi piirteeksi kolmannen vallankumouksen ryppäälle Cohen löytää todennäköisyyden, joka korvaa newtoniaanisen deterministisen kausaliteetin. Neljännen vallankumouksen suhteen Cohen on epävarma ja antaa seuraavan summittaisen määritelmän: “a considerable part of the biological sciences can be construed as a branch of applied chemistry and physics. At the same time, in the world of physics, the most revolutionary general features would be the abandonment of the vision of a world of simple elementary particles with only electrical interacting forces between them.” Cohen, *The Revolutions in Science* 1985, s. 96.

¹⁵⁶ Seuraavat tieteelliset kumoukset saavat Brushin hahmotelmassa huomattavasti vähemmän tilaa:psykoanalyysi ja Sigmund Freud (Brush käsittelee kriittisesti Freudin tieteellisyyttä, Brush 1988, s. 179), käyttäytyminen ja älykkyys (luku keskittyy behaviorismiin ja älykkyystestien kehittämiseen),atomit, energia ja statistiikka (viimeisessä lukuessa käsitellään siirtymistä yksinkertaisesta kausaalisuudesta tilastolliseen kausaalisuuteen), elektromagnetismin kehitys

Kirjassa avataan eri teorioiden keksimiskontekstit ja niiden aikalaiskritiikit sekä kerrotaan myös niiden yhteiskunnallisista vaikutuksista.¹⁵⁷ Tämä on myös tyypillinen nykyisten HPS-opetuskokeilujen piirre: luonnontieteen kehitys halutaan sitoa aina myös yhteiskuntaan, vaikka sen yhteiskunnallisuus ei olekaan internalismin tärkein anti opetuksen kehittämislle.

Kaikki edellä käsitellyt internalistiset yleisesitykset ovat luonnontieteen historian ammattitutkijoiden kirjoittamia. BBC:n tiedetoimittajien Michael Mosleyn ja John Lynchin kirja *The Story of Science: Power, proof and passion* (2010) on myös moderni internalistinen kertomus luonnontieteen ”hämmästyttävästä” menestyskertomuksesta.¹⁵⁸ Kirja on kirjoitettu opetukseen sopivaksi kuuden kronologisen teeman tarkasteluksi. Siihen on saatu näin käsittekontekstuaalisuutta ja kertomuksellista jatkuvuutta.¹⁵⁹ Kirja edustaa luonnontieteen historian internalistista whig-tulkintaa¹⁶⁰: tulkinnassa valitaan nykytutkimuksen onnistunut tutkimusohjelma ja luodaan sopivin valinnoin historiallinen polku.¹⁶¹ Näin luonnontieteen historiasta nostetaan esiin ”voittajan” tarina. Tämä voittoisa tarina esitetään valikoidusti henkilöhistoriallisena aikaansaannoksena.¹⁶² Lopputuloksena on tyypillinen, sinällään kiehtovasti kerrottu ja historiallisesti tarkka *nerohistoria*. Näin hyvin kirjoitettu, tarkka kuvaus voi johtaa kokonaisuutena myyttiseen sankarikertomukseen länsimaisen luonnontieteen voittokulusta. Toisaalta tällainen luonnontieteen historian yleisesitys on helppo kääntää mukaansa tempaavaksi opetuksiksi. Modernin luonnontieteen historian keskeinen opetus kirjan tulkinnoista on: luonnontieteen kehitys on muuttanut ihmiskunnan historiaa peruuttamattomasti ja nostanut meidät tietokulttuurina aivan uudelle tasolle.¹⁶³ Kirjassa kuvataan myös luonnontieteen eksternalistisia piirtei-

(Faradayn koetekniikat ja kenttäkuvaukset, Maxwellin matemaattinen formulointi ja Einsteinin suhteellisuusteoria), atomin rakenteen tutkimus, kvanttimekaniikan synty, päätyen aina atomipommiinprojektiin, tieteenfilosofiset ulottuvuudet, kvanttimekaniikan, tilastollisten tulkintojen, tieteen sosiologian ja myös tieteen kulttuurivaikutukset, astronomia 1800-luvulta laajenevaan maailmankaikkeuteen.

¹⁵⁷ Muita vastaavatyypisiä kirjoja internalistisesta luonnontieteen historiasta ovat Peter Whitfieldin *Landmarks in Western Science: From prehistory to the atomic age*. The British Library 1999 ja tarinoihin ja henkilöhistoriaan keskittyvä internalistinen kirja on John Gribbin, *Science: A history* (2002).

¹⁵⁸ Vaikka monet eksternalistiset seikat vaikuttavat kiistämättä luonnontieteen kehitykseen, modernin tieteen tarina on ollut ”has been one of the most colourful and exciting stories that it is possible to tell.” (Lynch ja Mosley 2010, s. 15.)

¹⁵⁹ Teemat ovat kosmos, aine, elämä, teho (mm. tekniikka), ruumis ja mieli.

¹⁶⁰ Whig -historia on historioitsija Herbert Butterfieldin käyttönottama (1931) käsite. Whig – tulkinnassa historiaa kirjoitetaan voittajan näkökulmasta. Butterfieldin mukaan Englannin historian whig -tulkinnassa Englannin kehitys (progressiivinen) kohti teollista, parlamentaarisesti hallittua modernia valtiota alkoi, kun parlamentarismi (whig -puolueen ja protestanttisuuden ansiosta) voitti kuninkaan yksinvallan. Wilfred M. Clay, *First Things* 5/2011, s. 48. Luonnontieteen historiassa whig-tulkinta vastaa valistuksen suurta kertomusta. Whig- historia on ristiriidassa kontekstuaalisen historian tulkinnan kanssa.

¹⁶¹ Kirjassa on yksi teema, joka antaa syvyyttä internalistiseen tulkintaan. Luku ’teho’ aloitetaan vanhoista vesikulttuureista, ja mekaanisten keksintöjen kautta voima liitetään sekä talouteen, teollistumiseen (höyrykone) ja klassisen mekaniikan ja sähköön ”keksimisen” kautta myös tieteen vallankumoukseen. Lisäksi suurten teollisten tutkimuslaboratorioiden ja Manhattan-projektin kautta saadaan käsitys myös nykyisen luonnontieteen ”Big Picture” -piirteistä. Lynch ja Mosley 2010, s. 144–186.

¹⁶² Katso kirjan luku ”Character counts”, jossa esitellään luonnontieteen historian persoonallisuustyyppejä. Luvun sanoma on, että nerouden taustalla on aina erikoislaatuinen, voimakas persoonallisuus. Tiedemiesten tyyppitapauksina esitellään valikoitu ryhmä: Kepler, da Vinci ja Newton (”...a spark of genius and obsessive personality.”) Lynch ja Mosley 2010, s. 12.

¹⁶³ “Many truths of it are counterintuitive, and our everyday experience of the world is irrelevant its progress...The scientific method, which is today practised in all corners of the world, builds explanations based on evidence, and when new evidence emerges that does not fit with the model, the explanation must change. That is why science moves on” (Lynch ja Mosley 2010, s. 15)

tä. Ne ovat kuitenkin modernia pääkertomusta rikastuttavia sattumuksia. Tiedemiehet ovat kirjan kuvauksessa yhteisönä aina samanlainen joukko rationaalisia tutkijoita, joiden tutkimustapa ja luonnontieteellinen ajattelu on säilyttänyt kaikki oleelliset samat piirteet modernin kertomuksen alusta nykypäivään.¹⁶⁴ Mosleyn ja Lynchin tulkinta muistuttaa tieteensosiologi Robert Mertonin tulkintaa luonnontieteestä: tieteensosiologialla ei ole mitään oleellista sanottavaa luonnontieteen keksimiskontekstista. Se antaa kuvan modernin tieteen voimasta, mutta toisaalta se peittää alleen kaikki eksternalistiset tulkinnat, paitsi nykytieteen symbioosin tekniikan kehityksen kanssa.

Uudesta internalistisesta luonnontieteen historian kirjallisuudesta, jossa tieteen ja tekniikan yhteyttä korostetaan, voidaan esimerkkinä ottaa Peter Dearin kirja *The Intelligibility of Nature* (2006). Kirjassa tehdään yleisratkaisu, joka sopii pohjaksi HPS-perinteen luonnontieteen historian opetukseen. Dear pyrkii tasapainoon luonnontieteen aatehistorian (koyrélaisen näkökulman, teorian korostamisen) ja luonnontieteen teknisen instrumentalismin (tekniikan ja käytännön) välillä. Kirjassa kartoitetaan historiallisesti kaksi ideaa, jotka ovat tärkeitä myös tässä kehitystutkimuksessa muokkauksen kohteena olleen lukiokurssin Eurooppalainen ihminen kannalta: mekaaninen maailmankaikkeus ja luonnon ”oikean” järjestyksen etsiminen. Dear kuvaa kahden keskeisen teeman, luonnonfilosofian ja luonnonhistorian, muuttumisen sekä niiden yhdistymisen luonnontieteeksi. Dearin mukaan luonnonilmiöiden ”käsitettävyyttä” on luonnontieteen historian keskeinen piirre. Toinen piirre, jota ilman luonnontiedettä ei voi ymmärtää, on ”vaikuttavuus”. Käsitettävyyttä on läsnä voimakkaasti evoluutioteoriassa ja kosmologiassa. Vaikuttavuus toteutuu kemiassa ja fysiikassa, näiden tieteenalojen soveltaessa esimerkiksi kvanttimekaniikan tutkimustuloksia arkielämäämme.¹⁶⁵ Näin teorian kehitys yhdistetään teknologian kehitykseen uudenaikaisella tavalla.

¹⁶⁴ Vuonna 2010 suomeksi ilmestynyt Paolo Rossin kirja *Modernin tieteen synty Euroopassa* (2010) jatkaa samaa perinnettä. Kirjassa on hyvin kuvattu tieteen vallankumouksen internalistinen ydin: ”Mitä metodiin tulee, olen vakuuttunut, etteivät ne erityiset teoriat, jotka muodostavat kunkin tieteen *kovan ytimen* (kursivointi Rossin), ole tiettyjen historiallisten tai yhteiskunnallisten olosuhteiden heijastuma... historialla on paljonkin tekemistä kulttuurissa olevien, tieteessä vallitsevien mielikuvien kanssa, mitä tieteestä sanotaan olevan, tai mitä haluttaisiin olevan.” Paolo Rossi, *Modernin tieteen synty Euroopassa*, (alunperin 1997) 2010, s. 21.

¹⁶⁵ Peter Dear, *The Intelligibility of Nature* 2006, s. 192.

3.2.2 YLEISESITYSTEN TIETEENFILOSOFINEN PERINNE

Internalistinen luonnontieteen historian tulkinta on synnyttänyt kirjallisuuteen genren, joka on opetusmateriaalina sopiva erityisesti luonnontieteen opetukseen ja jolla on läheinen suhde HPS-opetukseen. Tämän genren klassikkoja ovat Ernst Mach, Pierre Duhem ja erityisesti Thomas Kuhn. Merkittävimpana yksittäisenä kirjana tässä luokassa voidaan pitää Thomas Kuhnin *Tieteellisten vallankumousten rakennetta* (1962), jota on käytetty HPS-opetukseen ja joka kuuluu myös STS-opetuskokeilujen peruslukemistoon.¹⁶⁶ Näissä kirjoissa luonnontieteen historian kronologiasta on usein luovuttu ja luonnontieteen historiaa käytetään keskeisten tieteenfilosofisten teemojen pohtimiseen. Näissä kirjoissa historialliset ”harhapolut” on poistettu tieteellisten käsitejärjestelmien kehityksestä. Kirjoissa kuvataan, millaista luonnontieteen historian olisi pitänyt olla. Vaikka luonnontieteen historiankirjoituksena käsitystä voidaan pitää virheellisenä, luonnontieteen vaikeiden käsitteiden opettamisessa sillä on edelleen suuri merkitys. Tästä esimerkkinä on Alan Chambersin *What is this thing called Science* (2000, alkuteos 1978).¹⁶⁷ Chambersin kirjan opetuksellisesta asemasta kertoo, että *Science & Education* -lehti julkaisi kirjasta oman teemanumeron 1999. Michael Matthewsinkin kirjoittaman johdannon mukaan kirja oli tällöin käännetty jo viidelletoista kielelle ja siitä oli otettu painos toisensa jälkeen kirjan kaksikymmenvuotisen opetuskäytön vuoksi. Kirjan ydin on kokeellinen luonnontiede, sen historiallinen synty ja keskeiset tieteenfilosofiset piirteet. Kirja on kirjoitettu modernin, länsimaisen luonnontieteen menestystarinan muotoon. Luonnontieteen yhteiskunnalliset puolet jäävät ainoastaan pieniksi välähdyksiksi ja hukkuvat pääteemojen sekaan syvennysruuduiksi. Chambersin kirja perustuu pragmaattiseen tietokäsitykseen. Chambers uskoo, mielestään vahvojen historiallisten todisteiden avulla, että luonnontiede on edistynyt. Luonnontiede on kehittänyt historiansa aikana selittävämpiä teorioita ja hienostuneempia koetekniikoita. Chambersin mielestä historiallinen käytäntö on todentanut tämän teesin vakuuttavalla tavalla.¹⁶⁸ Kirjan voima on sen suhteellinen helppolukuisuus ja hienostelematon kirjoituspa. Tämä tekee kirjasta sopivan johdanto-oppikirjan luonnontieteen filosofiaan.

Nykyaikaisempi version samasta tieteenfilosofisesta HPS-yleisesityksestä on Richard Dewittin *Worldviews* (2004). Dewitt kertoo fysiikan teorian kehityksen kronologisena tarinana antiikista nykyaikaan, puhdistaen kehityskertomuksen ”epäoleellisista” esoteerisista virtauksista ja yhteiskunnallisista painolasteista. Tulos on looginen, rationalistinen, puhdas, platoninen kuvaus länsimaisen modernin luonnontieteen järjen voimasta. Historiankuvaus kirja ei ole, koska luonnontieteen historia on sosiaalista toimintaa eikä pelkästään fysiikan historiaa.¹⁶⁹ Tämä kirja auttaa kuitenkin ymmärtämään nykytieteen taustalla olevia metafysisiä

¹⁶⁶ Kuhnin vaikutuksesta luonnontieteen historian opetukseen katso J. Heilbron, *Applied History of Science*, Isis 1987, s. 554. Abd-El-Khalickin perusteellisessa luonnontieteen historian kokeilussa Kuhnin kirja on keskeisessä asemassa. Abd-El-Khalick, *Developing deeper understandings of nature of science: the impact of a philosophy of science course on preservice science teachers' views and instructional planning*, *International Journal of Science Education* 2005, s. 15–42. Kuhnin kirja on niin monitulkintainen, ettei se kuitenkaan ilman selityksiä sovellu opetukseen.

¹⁶⁷ Teoksensa vuoden 2002 uusintapainoksessa Chambers ottaa huomioon tieteenfilosofian ja tieteen sosiologian nykysuuntaukset, niinpä kirjassa on lisäteemoina: Feyerabendin tietoteoreettinen anarkismi, Bayesilainen tilastollinen lähestymistapa, uusi kokeellisuus (sosiaalisen konstruktivismin käsittely) ja Science Wars -kiista.

¹⁶⁸ Chambers 2000, s. 246.

¹⁶⁹ Tyypillinen nykyaikainen final form -luonnontieteen historia on James Trefillin *Cassell's Laws of Nature* (2002). Se on positivistinen ja kronologinen luonnontieteen historian edistyskertomus. Luonnonlaki käsitetään laajasti siten, että se sisältää teorian, mallit, lait, periaatteet ja ilmiöitä kuvaavat matemaattiset yhtälöt. Tällä jäsenyyksellä kirjoitettua

lähtökohtia, selkiyttää tieteenfilosofian peruskäsitteitä ja antaa luonnontieteen opetukseen käsitehistoriallisen näkökulman.

Kaksi viimeksi mainittua kirjaa on kirjoitettu luonnontieteen opetuskäyttöön. Niiden painopiste on tieteenfilosofiassa. Tällaiset tieteenfilosofispainotteiset kirjat ovat luonnontieteen historian opettajille erityisen tärkeitä, sillä niiden avulla voidaan saada tulkinnallista varmuutta opetukseen valittujen käsitejärjestelmien käsittelemiseen.¹⁷⁰ Ne antavat opiskelijoille mahdollisuuden pysähtyä pohtimaan luonnontieteen käsitteitä ja teorioita syvällisesti tieteenfilosofian kannalta, mutta toisaalta ne antavat kapean kuvan historiallisesta käsitteestä ”luonnontiede”. Opetuksessa ne jatkavat Ernst Machin perinnettä, jossa luonnontieteen historian konkreettisuutta käytetään opetusmenetelmänä.

3.2.3 LUONNONTIETEEN HISTORIAN EKSTERNALISTISET YLEISESITYKSET ELI STS-PERINNE

David Kaiserin artikkelin *Training and the Generalist's Vision in the History of Science* (2005) mukaan luonnontieteen historian tutkimuksen pääpaino on 1980-luvulta lähtien ollut tieteen sosiologian tutkimuksessa.¹⁷¹ Painotus synnytti 1990-luvulla STS-opetuskokeiluja. Luonnontieteen historian tutkimuksen ja opetuskokeilujen leikkauskohtana voidaan pitää Thomas Kuhnin kirjaa *Tieteellisten vallankumousten rakenne* (1962), koska sen lähtökohtana on tieteellisten selitysjärjestelmien muutoksen kuvaus, ja tässä mielessä se on perinteistä internalistista käsitehistoriaa.¹⁷² Kirja toimi kuitenkin tärkeänä ponttina uuden suuntauksen, luonnontieteen sosiaalishistorian synnylle.¹⁷³ Lisäksi se on ollut lähtökohtana luonnontieteen opetuskokeiluille.

Luonnontieteen sosiaalishistorialliset yleisesitykset juontavat aina 1950-luvulle, jolloin niiden ponttina oli marxilaisuuden leviäminen tieteen historiaan. Alan klassikko on I.B. Bernalin *Science in History* (1954). Bernalilla oli kirjassaan taustalla voimakas marxilainen tulkinta: luonnontiede liitetään talouden perusrakenteeseen, ja yhteiskunnan taloudellisen perustan muutokset nähdään yhteydessä luonnontieteeseen ja tekniikkaan. Kirja on neliosainen ja niin laaja tulkinnaltaan, että luonnontieteen historian merkitykset eivät kirjasta nouse esiin. Bernalin laaja ja kattava teos voi toimia lähinnä opetuksen käsikirjana, ja sen taulukoiden avulla voidaan sijoittaa luonnontieteen ja tekniikan innovaatiot eri historian aikakausiin.

luonnontieteen historia johtaa valistuksen suureen kertomukseen luonnontieteen kasvavasta selitysvuimasta ja positivismiin käsitykseen luonnontieteen voittokulusta (2002, s. xxix). Tällaisessa kertomuksessa ei ole käsitteellistä tai yhteiskunnallista kontekstuaalisuutta. Lähinnä kirjaa voi käyttää luonnontieteen opetuksen historiallisena elävöittäjää. Opetuksellisesti kirja ei johda historiallisfilosofiseen käsite- ja teoriapohdintaan, eikä siten pohjusta nykyaikaista HPS-opetusta kovin hyvin.

¹⁷⁰ Dewittin (2004) kirjasta löytyy selkeät kuvaukset aristoteelisesta, ptolemaiolaisesta, kopernikaanisesta ja newtonisesta järjestelmästä, suhteellisuusteoriasta ja kvanttimekaniikasta. Lisäksi omassa luvussa käsitellään keskeisten käsitejärjestelmien välisiä ristiriitoja, esim. Duhem–Quine-teen selitys ja realismi–instrumentalismin kiistan ydin. Opetaja tarvitsee opetukseen tällaisen loogisen selvennyksen. Historiallisen kehityksen kuvaus tämä puhdistettu versio ei ole.

¹⁷¹ Kaiser, Isis 2005, s. 249.

¹⁷² Michael Friedman, *History and Philosophy of Science in a New Key*, Isis 2008, s. 126. Kuhn itse nostaa esiin yhden luonnontieteen historian tutkijan hänen vallankumouskirjansa internalistisen tulkinnan takaa, venäläisranskalaisen historioitsijan Alexandre Koyrén. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions* (alun perin 1962) uusintapainos 1997, s. viii.

¹⁷³ ibidem, s. 125–126.

Eksternalistisen tulkinnan luonnontieteen historian klassikkona voidaan pitää myös Jerome R. Ravetzin teosta *Scientific Knowledge and its Social Problems* (1971). Kirja ulottaa luonnontieteen historian tulkinnan sekä yhteiskunnalliselle että tekniikan alueelle. Edelleen Ravetz siirtää luonnontieteen historian painopisteen tieteen vallankumouksesta nykyaikaan, ”teollisen luonnontieteen” piirteiden tarkasteluun.¹⁷⁴ Tämä tulkinta oli aikanaan merkittävä laajennus luonnontieteen historian tulkintaan ja siksi kirja herätti paljon vastustusta.¹⁷⁵ Kirjan asenne luonnontiedettä kohtaan on kriittinen.

Samantyyppinen näkökulma on John Ziman kirjassa *The Force of Knowledge. The scientific dimension of society* (1976). Kirjan painopiste on erityisesti luonnontieteen ja yhteiskunnan välisessä kompleksisessa suhteessa.¹⁷⁶ Opetuskäyttöä ajatellen kirjan huono puoli on sen jäsentymättömyys. Ziman on sisällyttänyt kirjaansa suuren joukon löytämiään luonnontieteen yhteiskunnallisia kytköksiä. Erityisesti kirjan painopiste on 1900-luvun tieteessä, joka käsittelee tieteenhistorian nykyaikaisia ”Big Science” -teemoja. Kirjasta ei löydy temaattista tai kronologista rakennetta, ja siksi sitä on hyvin vaikea käyttää opetuksen tukena pyrittäessä identifioimaan tieteen sosiologian kannalta oleellisia teemoja. Ziman vaatii kirjansa 1976 laitoksen esipuheessa tieteen yhteiskunnallisten ulottuvuuksien ottamista mukaan opetukseen. Hänen mukaansa ”...tieteen sosiologian vakiintuminen opetussuunnitelmiin ja akateemiseksi oppialaksi tulee viemään jonkin verran aikaa”.¹⁷⁷ Luonnontieteen opetuksen STS:n opetusliikkeen perustajan Joan Solomonin mukaan Zimanin tuotanto on ollut tärkeä lähtökohta STS-opetusliikkeelle.¹⁷⁸

Kaksi luonnontieteen historian opetusliikettä, internalistinen HPS ja eksternalistinen STS, ajautuivat 1990-luvulla erilleen toisilleen vihamielisiin leireihin. Eräänä keskeisenä tekijänä välirikossa on ollut kahden johtavan tieteen sosiologin, Harry Collinsin ja Trevor Pinchin, luonnontieteen opetukseen tarkoitettu Golem-kirjasarja. Teokset ovat olleet luonnontieteen opetuksen kannalta merkittäviä, koska ne ovat vaikuttaneet osaltaan tiedemaailmassa käytävän ”Science Wars” -kiistan (tiedesodan) syttymiseen.¹⁷⁹ Golem-sarjan ensimmäinen kirja oli nimeltään *The Golem, What You Should Know about Science* (1997). Kirjaa voidaan pitää postmodernina luonnontieteen popularisointina.¹⁸⁰ Sen esipuheessa kerrotaan, että kirja on erityisesti suunnattu tavallisille kansalaisille ja maallikoille.¹⁸¹ Juuri poliittisia päätöksiä varten kansalaisen tarvitsee tietää, että luonnontieteen tutkimus sisältää paljon ristiriitaisuuksia.

¹⁷⁴ Ravetz 1971, s. 409. ”The idea of progress with which the rise of modern science was intimately associated received its mortal blow in the First Worldwar.” Ravetz 1971, s. 409.

¹⁷⁵ Kiistasta seuraavassa luvussa enemmän.

¹⁷⁶ Ristiriita näkyy erityisesti kiistoissa konstruktivismista ja NOS-teemoista.

¹⁷⁷ Ziman 1976, s. vii.

¹⁷⁸ Joan Solomon, *What and Why is STS*, 1993.

¹⁷⁹ Trevor Pinch: ”...The Golemin suosio laajassa lukijakunnassa ärsyttää eniten fyysikoita.” Artikkelissa Kalvaako tieteen tutkimus (tarkoittaa eksternalistista tieteenhistorian tutkimusta) luonnontiedettä, s. 35, (toim. Jay Labinger ja H. Collins 2007). Samassa kirjassa N. David Mermin kritisoi, artikkelissa Vakavaa keskustelua sosiologien kanssa, Collinsin ja Pinchin Golem-sarjaa sekä erityisesti sen poleemista käsitystä luonnontieteen opetuksesta. Harry Collins täsmentää kantaansa luonnontieteen opetukseen: ”... koulussa opetetaan luonnontieteen mytologiaa... tieteen sosiologian merkitys on myyttien purkaminen.” Artikkelissa *The Uses of Sociology of Science for Scientists and Educators*, *Science & Education* 2007, s. 222.

¹⁸⁰ Mika Kiikeri ja Petri Ylikoski, *Tiede tutkimuskohteena* 2004, s. 195.

¹⁸¹ Collinsin ja Pinchin mukaan kirja on tarkoitettu ”kansalaisille ja noviiseille”. Collins ja Pinch 1997, s. xiv.

sia.¹⁸² Collinsin ja Pinchin mukaan kansalaisille on kerrottava luonnontieteen eri rooleista: se voi olla historian edistyksellinen voima, suorastaan pelastaja. Toisaalta se voi edustaa mekaanista maailmankuvaa kaiken esteettisesti tai eettisesti merkittävän vastakohtana. Se voi olla mahdollisuus kohota köyhyydestä omavaraisuuteen ja parannus kuolettavaan sairauteen.¹⁸³

Kirja edustaa vahvan ohjelman mukaista naturalismia sosiologiassa ja filosofiassa: kansalaisien on tiedettävä, mitä luonnontieteessä todella tapahtuu, ei ainoastaan historiallisesti puhdistettua internalistista menestyskertomusta. Luonnontieteiden opetuksessa opiskelijoille opetetaan demonstraatioiden avulla luonnontiedettä, mutta Collinsin ja Pinchin mukaan demonstraatioiden teko on vain keino vakuuttaa, että fysiikka on merkittävin kouluaine. Tietenkin valikoitu internalistinen historia edelleen vakuuttaa luonnontieteen merkityksen puolesta.¹⁸⁴ Juuri tätä käsitystä Golem-sarja haluaa horjuttaa. Tavallinen kansalainen tai lukion oppilas saattaa hämmentyä tästä realistisesta luonnontieteen kuvauksesta, koska Collinsin ja Pinchin mukaan hänen ideaalikuvansa luonnontieteestä on filosofian ja historian jälkiviisauden silaama.¹⁸⁵

Golem-sarjan toinen osa *The Golem at Large* (1999) kertoo taas ”kaiken, mitä sinun tulee tietää tekniikasta” case-tutkimusten kautta. Kirjan tarkoitus on antaa luonnontieteen lisäksi realistinen kuva myös tekniikasta. Tämä onkin perusteltua, sillä nykyisen tieteen historian käsityksen mukaan tiedettä ja tekniikkaa on vaikea erottaa toisistaan. Kirja haastaa lukijat suhtautumaan kriittisesti tekniikkaan, joka on useimmiten epävarmempaa ja haavoittuvaisempaa, kuin siitä tiedottavat tahot antavat ymmärtää. Lisäksi nykyaikainen teknologia kehittelee niin vakavia ja kalliita projekteja, että kansalaisten on oikeus saada tekniikasta realistista tietoa.¹⁸⁶ Tässä tehtävässä kirja ei kuitenkaan onnistu, koska sen ymmärtäminen edellyttää laajoja yleistietoja luonnontieteen historiasta ja kirja sisältää suuren joukon teknistä tieteen-sosiologista termistöä.¹⁸⁷ STS-opetuksen suurin ongelma on, että opettaja tai opetuksen sisällön kehittäjä ei ymmärrä, mitä käsitteitä tai sisältöjä hänen tulisi opettaa.

¹⁸² We have selected the life sciences, and the physical sciences and we have selected episodes of famous science alongside relatively mundane science and what some call bad science. We have done this because we want to show that, in terms of our concerns, the science is the same whether it is famous or infamous, big or small, foundational or ephemeral. Collins ja Pinch 1997, s. xviii.

¹⁸³ Collins ja Pinch 1997, s. xiv.

¹⁸⁴ Modernia käsitystä tieteestä opetetaan kirjoittajien mukaan seuraavasti: ”Luokassa opettaja *pakottaa* yksimielisyyteen vakuuttamalla lapset, joista kukin on mitannut vedelle oman kiehumispisteensä, ja luokan tulokset peittävät koko graafin, että juuri he ovat osoittaneet että vesi kiehuu sadassa asteessa.” Harry Collins, teoksessa toim. Collins ja Pinch 1997, s. 117.

¹⁸⁵ Juutalaisen mytologian Golem on vedestä ja savesta taitettu humanoidi, joka kasvaa päivä päivältä voimakkaammaksi. Golem voi olla voimakas auttaja, mutta ilman kontrollia se tuhoaa mestarinsa voimallaan ja väkivallallaan. ”The shock comes because the idea of science is so enmeshed in philosophical analyses, in myths, in theories, in hagiography, in smugness, in heroism, in superstition, in fear, and, most important, in perfect hindsight, that what actually happens has never been told outside the small circle.” Collins ja Pinch 1997, s. 197. Kirjan näkökulma on tärkeä pohja STS-opetukselle: luonnontiede on epävarma yritys; monesti se on epäonnistunut, se on usein liian kallista, se on inhimillistä, se on läpikotaisin sosiaalista toimintaa ja ennen kaikkea se on parhaimmillaan vaarallisen tehokas. Juuri tämän vuoksi päätöksentekijä tarvitsee tietoja tieteen monista rooleista. Luonnontieteen historian yleistökseksi siitä Golem -sarjasta ei kuitenkaan ole. Siinä olevat seitsemän hajanaista case-tutkimusta eivät anna mahdollisuutta tasapainoisen luonnontieteen historiallisen yleiskuvan luomiseen.

¹⁸⁶ Collins ja Pinch, *The Golem at Large* 1999, s. xv.

¹⁸⁷ Kiikeri ja Ylikoski 2004, Tiede tutkimuskohteena, s. 194. Myös Trevor Pinch toteaa artikkelissaan Kalvaako tieteen tutkimus luonnontieteitä, että lukijakunta Golem-sarjalle ovat jo valmistumisvaiheen opiskelijat, eivät tavalliset kansalaiset (toim. Labinger ja Collins 2007), s. 35.

Ian Golinskin kirjaa *Natural history of science* (1998) pidetään ”sosiaalisen konstruktion raamattuna”¹⁸⁸. Golinski on itse konstruoinut luonnontieteen historiaan käsitteen ”konstruktivismi”. Kirjan johdannossa Golinski sanoutuu irti ontologisesta konstruktivismista ja kertoo edustavansa metodista konstruktivismia, joka merkitsee, että tutkittavan ajan eri uskomusjärjestelmiä pitää tutkia tasavertaisesti. Perinteisen internalistisen luonnontieteen historian menestystarinan ei pidä määrätä tutkimusnäkökulmaa. Kirja tarjoaa kuusi uutta näkökulmaa luonnontieteen historiaan: konstruktivismin synty ja sen tutkimuksen piiri, tiedemiesidentiteetin synty, tiedon tuotannon paikka, puhe luonnosta, interventiot ja representaatiot, kulttuuri ja konstrukto sekä viimeiseksi pakotteet kertomukselle. Teemat ovat tärkeitä, mutta kirja hajoaa joukoksi case-tutkimuksia ja niissä käytettyjen käsitteiden selityksiksi. Opetuksen kehittäjälle ei käy selväksi, mitkä käsitteet ovat niin keskeisiä, että ne tulee käsitellä opetuksessa. Esimerkkeinä ovat Golinskin kirjassaan käyttämät, useille opettajille uudet, tieteensosiologiset käsitteet ”mangle of practice”, ”actant”, ”network”, ”the experimenters’ regress”, ”The Black box”, ”technoscience”, ”actor-network” ja ”boundary objects”.

Robert Kohlerin mielestä Golinskin kirja ei ole varsinainen käsitteellinen työkalupakki, vaan sekalainen reppu. Erityisesti hän olisi kaivannut esitykseen toisen tieteellisen vallankumouksen *makrososiaalisia kuvauksia*.¹⁸⁹ Varhaisen tieteen sosiaalitutkimuksen ongelma on, että se on modernin luonnontieteen historian kritiikkiä, mutta kritiikin kohde, moderni kertomus luonnontieteen historiasta, on kuitenkin häivytetty.¹⁹⁰ Luonnontieteen historian opettaja ja opetuksen kehittäjä joutuu tämän kirjallisuuden kanssa ymmälleen. Mikä on luonnontieteen historian sosiologisessa tulkinnassa keskeistä, mihin tulisi keskittyä ja mitä teemoja olisi valittava eri aikakausien oppikirjakuvauksiin tai opetukseen? Löytyykö tieteensosiologiasta *pääkertomusta*, joka olisi sisällytettävä oppimateriaaleihin?

Esimerkkinä luonnontieteen historian opetuksen kehittämisen sovellusongelmasta voidaan tarkastella kahta valittua kirjaa modernin luonnontieteen synnystä: I.B. Cohenin *The Birth of Physics* (1985) ja Steven Shapinin *The Scientific Revolution* (1996). Kirjojen sisältöratkaisuissa näkyy selkeästi, kuinka perinteellinen luonnontieteen historiantulkinta johtaa erilaiseen kokonaisesitykseen kuin samasta aiheesta ja aikakaudesta kirjoitettu postmoderni, tieteensosiologinen historiantulkinta, jossa kuvauksen painopiste on luonnontieteen yhteiskunnallisuudessa. Asetelmassa 1 nähdään luonnontieteen historian kahden perinteen ongelma sisältöjä opetukseen etsivän historian opettajan silmin nähtynä.

¹⁸⁸ Tämän luonnehdinnan antaa kirja-arviossaan Robert Kohler, *Isis* 1999, s. 331.

¹⁸⁹ Kohler esittää: ”New histories of science will, I suspect, *resemble the old in narrative structure* – scientific revolution, occupation and discipline, state science – but with the new leaven of constructivist insight into how large-scale structures and changes depend on everyday, local practices and events.” (kursivointi LH) Robert Kohler, *Isis* 1999, s. 331.

¹⁹⁰ James Secordin mukaan tämä koskee luonnontieteen historian modernia kertomusta: ”More seriously, revisionist accounts by historians of science tend to rely for their power on the continued dominance of older frameworks. We offer critiques rather than explanations or competing alternatives.” Secord, *Science in Transit*, *Isis* 2004, s. 565. Tämä teema toistuu esim. seuraavissa kannaotoissa: James Secord, *Science in Transit*, *Isis* 2004; David Kaiser *Training and the Generalist’s Vision in the History of Science*, *Isis* 2005; Paula Findlen, *The Two Cultures of Scholarship?* *Isis* 2005. A. Cunningham ja P. Williams (toim. M. Hellyer 2003) ja Stephen Shapin (2005) vastustavat modernia luonnontieteen historian kertomusta.

Asetelma 1. Internalismi ja eksternalismi -rajalinja kahden klassikkoyleisesityksen, I.B.Cohenin, *The Birth of New Physics* (alun perin 1960, uusi painos 1985) ja Steven Shapinin, *The Scientific Revolution* (1996) tapauksessa.

kirja	<i>I. Bernard Cohen, The Birth of A New Physics, alunperin kirjoitettu 1960. Uusittu ja korjattu painos 1985.</i>	<i>Steven Shapin, The Scientific Revolution 1996.</i>
opetuksellinen lähtökohta	internalismi, HPS	eksternalismi, STS
päämäärä	I.B. Cohen haluaa kertoa lukijoille, mitä tieteen vallankumouksessa tapahtui. Koska vallankumous tapahtui vain astronomiassa ja mekaniikassa, kirja keskittyy näissä ”tieteenaloissa” tapahtuneeseen teorianmuutokseen ja sen merkityksen kuvaukseen. Kirja kertoo presentistisesti klassisen mekaniikan synnyn valikoiden sen muutosta selventävät episodit tarkoitukseen sopivasti. Näin voidaan ajatella, että kirja ei ole niinkään luonnontieteen historian kuvaus vaan luonnontieteen historian oppikirja, jonka avulla tutustutaan klassisen mekaniikan teorian historialliseen rakenteeseen.	Shapin ilmoittaa päämääräkseen osoittaa, että modernin historian kertomusta, tieteen vallankumousta, ei ole ollut olemassa. Shapinin mukaan luonnontieteen historialla ei ole ”olemusta”. Shapin haluaa kirjoittaa laajalle yleisölle; siksi kirja ei kirjoitustyyliltään ole tekninen. Luonnontieteen ideat Shapin sijoittaa kulttuuriseen ja sosiaaliseen kontekstiin ja vie kertomuksen tutkimuksen paikalliselle tasolle. Shapin haluaa kertoa luonnontieteen tutkimuksen konkreettisista käytännöistä: mitä tutkijat oikeasti tekivät, kun he tekivät havaintojaan, todistivat teoreemoja ja esittivät kokeita?
rakenne	Kirja rajautuu klassiseen mekaniikkaan ja astronomian kehitykseen.	Kirjan kolme lukua kuvaavat luonnontieteen ”vallankumousta” eri näkökulmista: tieto, miten tieto rakentuu, ja mihin tietoa käytettiin?
ansiot	Konkreettisuudessaan ja visuaalisuudessaan parhaita HPS-esityksiä luonnontieteen vallankumouksesta. Newtonin mekaniikka kuvaa esim. planeettojen liikettä tarkemmin kuin aiemmat järjestelmät. Ptolemaiolainen järjestelmän vahvuudet esitetään selkeästi.	Shapin esittelee luonnontieteen kehityksen toisen puolen: luonnontieteen filosofian ja luonnontieteen historian monet traditiot, kiistat, kokeiden tulkintavaikeudet, luonnontieteen käytännön toimintana ja käytäntöön kätkeytyvänä tietona.

<i>puute</i>	Kapea tulkinta historiallisesta luonnontieteestä, luonnontieteen ”majesteettinen” kuva, elitismi.	Kirja ei anna vastausta siihen, mitkä STS-teemat ovat keskeisiä ja mitä oppilaille pistäisi opettaa? Se ei kerro, mikä on klassisen mekaniikan ja astronomian tiedollinen asema opetuksessa?
<i>narratiivi</i>	Valistuksen suuri kertomus.	Paljon pieniä kertomuksia, mikään niistä ei nouse toisten yläpuolelle.
<i>Soveltuvuus lukio-opetukseen</i>	Sopii luonnontieteen internalistisen puolen kuvaukseen. Kirjasta voi ottaa kuvia ja lukuja niin historian kuin fysiikankin opetukseen. Kirjasta saa helposti opetuksen mallin, miten käsitteiden muutoshistoriaa oikein opetetaan. STS-puoli unohdetaan täysin, ja se on etsittävä muista kirjoista.	Kirja on ensisijaisesti tieteen vallankumouksen kritiikki, ja sitä on vaikea käyttää, koska tieteen vallankumousta ei kirjoiteta eksplisiitisti auki. ¹⁹¹ Tämä on ymmärrettävää, koska mitään tieteen vallankumousta ei kirjoittajan mukaan tapahtunut. Kirjasta voi ottaa osia STS-opetukseen. Soveltuvuus on kuitenkin rajallinen, koska Shapin ei kerro tarkkaan, mikä 1600-luvun tiedosta on oleellista eikä anna opettamisen malleja. Teoksessa on paljon tietoa tasaisena mattona. Kirjassa ei kerrota, miten eri tieteen teemat oikein liittyvät toisiinsa. ¹⁹²

Vaikka luonnontieteen historian tutkijat pitävät internalismi–eksternalismi -rajalinjaa vanhentuneena, luonnontieteen historian yleisesityksissä jako on selvästi nähtävissä. Rajalinja häiritsee opetuksen kehittäjän ja oppisisältöjen laatijan työtä, jos hän ei tunne rajalinjan syntyhistoriaa ja siihen liittyviä tieteenfilosofisia merkityksiä. Perinteet ovat avoimen vihamielisiä toisiaan kohtaan ja pitävät toistensa tieteenfilosofisia lähtökohtia väärinä. Tilanne on kuitenkin paranemassa, sillä luonnontieteen historian yleisesityksistä löytyy nykyään joukko kirjoja, jossa rajalinja on ylitetty.

¹⁹¹ Eräs teema, joka yleisesityksissä jää usein taka-alalle, on tarkka raja, mitä sosiaaliluokkaa mikäkin maailmankuva tai sen muutos koskee. Koska Shapin antaa luonnontieteen historiasta tarkan sosiaalihistoriallisen tulkinnan, hän pyrkii rajaamaan sosiaaliluokan, jota ”vallankumous koski” (vaikka ei käsitteenä sitä hyväksy). Oppikirjoissa esiintyy usein yleistys, että uudesta tieteestä tuli länsimaisen maailmankuvan perusta. Shapin 1996, s. 8.

¹⁹² Shapin käsittelee klassista mekaniikkaa Newtonin Principian kautta laajasti, kun hän ensimmäisen luvun lopuksi kertoo gravitaatiolain sisällön (s. 54–67). Lukijalle ei selviä, millainen tämä uusi selitysjärjestelmä oli. Ongelma on tyypillinen tieteen sosiologiassa: jotta tieteen rationaalisuuteen kohdistuva perusteltu kritiikki olisi opiskelijalle ymmärrettävää, on ymmärrettävä modernin luonnontieteen rationaalisuusväite, tässä tapauksessa sovellettuna Principiaan. Laajan esittelyn kärki tulee lopuksi: ”Newton...put new stress on the role of, immaterial”active powers” in a properly constituted natural philosophy...” Newton tulkitsee maailmaa vanhan järjestelmän, aktiivisten voimien mukaisesti, kieltäen uuden filosofian mukaisen korpuskulaarisen tulkinnan. Korpuskularismin suhteen Shapin on oikeassa, mutta oliko Newtonin gravitaation matemaattinen kuvaus tarkempi kuin ptolemaiolainen astronominen järjestelmä. Voitiinko tällä kuvauksella saada tarkkoja ennusteita?

3.2.4 YLEISESITYKSET, JOISSA YLITETÄÄN INTERNALISTISET JA EKSTERNALISTISET RAJALINJAT

Uusimmat luonnontieteen historian yleistekokset pyrkivät ylittämään jakolinjan internalismi-HPS ja eksternalismi-STs.¹⁹³ Luonnontieteen historioitsija Patricia Fara pyrkii tähän kirjassaan *Science: a Four Thousand Year History* (2009). Fara säilyttää kirjassa kronologisen rakenteen.¹⁹⁴ Hän kuitenkin jäsentää kirjansa niin, että internalistiset ja eksternalistiset luonnontieteen historian teemat käsitellään aina silloin, kun ne kuuluvat kyseisen aikakauden kontekstiin. Faran temaattinen ratkaisu on seuraava: luonnontieteen historian pääluokina käsitellään kronologisessa järjestyksessä (lukujen nimet seuraavat) Alkuperä, Vuorovaikutukset, Kokeet, Instituutio, Lait, Näkymättömät ja päätökset.¹⁹⁵ Vaikka kirjassa on pääosin sosiilihistoriallisia teemoja, internalistinen luonnontieteen käsitehistoria on kuvattu tarkasti ja se muodostaa loogisen, yhtenäisen linjan kirjassa.

James McClellanin ja Harold Hornin teos *Science and Technology in World History* (1999) on samanlainen yleisteos. Kirjan esipuheessa nämä luonnontieteen ja teknologian ammattituttajat asettavat tavoitteekseen antaa ”tavallisille lukijoille” yleiskuvan (”big picture”) tieteen ja tekniikan historian kehityksestä.¹⁹⁶ Kirjan nimi kertoo kirjan yleisluonteen. Se ylittää luon-

¹⁹³ John Pickstonen kirja *Ways of Knowing: A new history of science, technology and medicine* (2000) on täysin uuden tyyppinen luonnontieteen historia. Pickstone käyttää uudenlaisia jäsennuskategorioita, jotka rikkovat kronologisen kirjoitusperinteen. Kirja pyrkii olemaan siltä kolmensadan vuoden yli, yhdistäen kulttuurien kolme tietämisen tapaa (ways of knowing): esoteerinen tieto, tekninen tieto ja arkielämän tieto. Kirja jakautuu neljään lukuun: luonnontieteen historia, analyysi, kokeellisuus ja ”technoscience”. Uusi jäsennys korvaa perinteisen tiedemies-keksintö-rakenteen. Kirjan näkökulma tuntuu vaikealta sovitaa lukion kurssisiin. Neljäs kategoria technoscience (yleinen postmodernistien käyttämä käsite) sinällään sopii opetettavaksi 1900-luvun luonnontieteen kategoriaksi. Technoscience-luvussa käsitellään luonnontieteen historian tieteellisteknistä kompleksia tavanomaiseen tapaan, mitään historiallisesti uutta ei luvussa ole. Tekniikkaa ja käytännöllistä tietoa korostavat myös Margaret Jacob (*The Scientific Revolution*, 2010), Peter Dear (*Intelligible Nature*, 2006), sekä Theodore Porter (*How Science Became Technical*, Isis 2009, s. 292).

¹⁹⁴ Iwan Rhys Morus (*What is History of Science really Like? History of Science* 2009, s. 366) arvostelee voimakkaasti Faran kirjaa. Hänen mielestään yhden teeman, luonnontieteen, irrottaminen historiallisesta kokonaiskontekstista, sekä valtavan pitkän ajanjakson (muinaisesta Babyloniasta aina hiukkaskiihdyttiin) kuvausyritys on historiallisesti mahdoton. Faran teos saa Morukselta myös kiitosta, koska internalistisissa luonnontieteen historioissa on yleensä vain pakollinen annos eksternalistisia teemoja: ”... institutions accordingly form one of Fara’s key themes in this book. They formed the hubs of increasingly powerful and pervasive networks of patronage and information-sharing. They provided resources for consolidating knowledge, making and disseminating new knowledge — and forging careers... their place in society was ordered, was crucial for the success or failure of their knowledge-making enterprises.” Morus 2009, s. 363. Historiallisesti ajatellen Morus on oikeassa, hän ei kuitenkaan ota huomioon, että luonnontieteen historia ”teemana” on jo kirjoitettu oppikirjoihin, popularisointeihin, elokuvaan, kertomuksiin jne. Tämä olemassa oleva luonnontieteen historia vaatii ajantasaisemman opetusversion.

¹⁹⁵ Luvut Alkuperä ja Vuorovaikutukset antavat luonnontieteelle erittäin laajan juuriston, joka tekee luonnontieteen historiasta monikulttuurisen, ja tämä piirre vahvistuu luonnontieteen globalisoitumisen teemassa sekä luvun Päätökset sisällöissä. Luvussa Kokeet käsitellään kokeellisen kulttuurin syntyä sosiaalisena, instrumentaalisena ja myös tiedon hankinnan kategoriana. Hävinneet teoriat, astrologia ja alkemia, jotka ovat karsittu whig-tulkinnassa, kuuluvat Faran mielestä kokeellisuuden piiriin (s. 84–108). Luku Instituutiot käsittelee uuden tieteen institutionalisoitumista ja luonnontieteen liittymistä teollistumisen teknologiaan (s. 147–191). Myös luonnontieteen rationaalisuus kuuluu luonnontieteen sosiaalisuuden piiriin (s. 185–191). Luku Näkymättömät kuvaa luonnontieteen kykyä käyttää tekniikan tarjoamia instrumentteja yhä tarkempiin mittauksiin ja havaintoihin. Tämä luonnontieteen juonne on johtanut suuriin lääketieteellisiin voittoihin ja kvanttimekaniikan tieteenfilosofisesti paradoksaalisiin tulkintoihin. Edistyksen nimissä on kuitenkin aloitettu tutkimusohjelmia, joiden tulokset ovat ihmiskunnan tulevaisuuden kannalta arveluttavia (s. 309–355).

¹⁹⁶ McClellan ja Horn 1999, s. vii.

nontieteen ja tekniikan historioiden välisen kuilun, ja tässä tehtävässä huolellisesti kirjoitettu luonnontieteen yleishistoria toimii opetuksen lähtökohtana.¹⁹⁷ Kirjoittajien tulkinnat vastaavat nykyluonnonhistorian tulkintoja: historiantekijöiden olisi päästävä eroon koiräläisestä aatehistoriallisesta juuttumasta ja ymmärrettävä käytännön ja teorian vuorovaikutus luonnontieteessä historian eri aikoina.¹⁹⁸ Miten luonnontiede ja käytännön tekniikka liittyvät toisiinsa? Kirjan mukaan Euroopassa 1500-luvulla tapahtunut sotilaallinen vallankumous loi ekspansiivisen kilpailukulttuurin ja antoi edellytykset myös luonnontieteen kehitykselle.¹⁹⁹ Imperialistinen Eurooppa valtasi maailman ja valjasti sen oman taloutensa käyttöön. McClellanin ja Hornin mukaan on turha etsiä suuria, tieteellisiin lähteisiin perustuvia yhteyksiä luonnontieteen ja tämän prosessin välille.²⁰⁰ Kirjassa luonnontieteen kehitys liitetään kiinteästi teolliseen vallankumoukseen, jonka seurauksena tiede organisoituu uudelleen, tieteelliset instituutiot järjestäytyvät tukemaan kansallisvaltojen kilpailukykyä ja globalisoituminen alkaa imperialismin seurauksena.²⁰¹ Erityisen painon McClellanin ja Hornin kirjassa saa 1900-luku, jolloin luonnontieteen painopiste siirtyy yliopistojen ulkopuolelle. Kolme viimeistä lukua koskevat selkeästi tekniikkaa ja käytäntöä ja painottavat talouden, markkinoiden, teollisuuden ja teknologian ensisijaisuutta suhteessa ”puhtaaseen tieteeseen”.

Samantyyppinen kirja on Eden ja Cormackin *A History in Science and Society: From Philosophy to Utility* (2002). Se on yritys kertoa valistuksen ”suuri luonnontieteen tarina” ja yhdistää siihen sosiaalishistoriaa ja tekniikan historiaa. Kuten yllä olevassa McClellanin ja Hornin teoksessa, tässäkin on internalistinen HPS-historia esitelty esimerkillisen hyvin. Uusina piirteinä ovat:

- kilpailevien teorioiden laaja esitleminen; lukija saa tuntuman tieteelliseen diskurssiin;
- tieteen sukupuolittuminen (naisen asema tieteessä)²⁰²,

¹⁹⁷ ”In order to develop the argument that the relationship between science and technology has been a historical process and not an inherent identity, we trace the joint and separate histories of science and technology from the prehistoric era to the present.” McClellan ja Horn 1999, s. 2. Myös Margaret Jacob korostaa tieteen vallankumouksen yhteyttä käytännön tekniikkaan kirjassaan *The Scientific Revolution, A Brief History with Documents* 2010, s. 8.

¹⁹⁸ McClellanin ja Hornin tulkinnan erikoispiirteitä ovat: tieteen pitkät juuret (luonnontieteen lähtökohta jo kivikaudessa ja ihmislajin kehittämissä mentaalisissa ja käytännöllisissä tekniikoissa, joiden avulla ihmisyhteisöt ovat selvinneet luonnon haasteista), tieteen alku levitetään globaaliksi, maantieteellisesti laajaksi matoksi (on vaikea enää puhua länsimaisesta tieteestä, koska sen juuret ulottuvat Kiinaan, Intiaan, Amerikkaan jne.), vieraiden kulttuurien, kuten Islamin ja Kiinan tiede (ja tekniikka) esitellään niiden omilla ehdoilla, luku ”Miksi tieteen vallankumousta ei tapahtunut Kiinassa?” on Eurooppa-keskeinen mutta valaisee myöhemmin käsiteltävän Euroopan luonnontieteen vallankumouksen erityispiirteitä, Intian ja Amerikan sofistikoituneet tieteelliset tekniset kulttuurit saavat hyvät esittelyt ja tieteen sosiologiasta käsitellään ns. Hessen-teesit.

¹⁹⁹ Margaret Jacobin ja Larry Stewartin *Practical Matter* (2004) on myös luonnontieteen ja teknologian yhdistävä yleisesitys. Jacob on tutkinut newtonismin leviämistä valistuskulttuuriin. Hän on käyttänyt uutta lähdemateriaalia ja luonut yhteyden tieteen vallankumouksen ja teollisen vallankumouksen välille. Vanhemman internalistisen tutkimuksen ongelma oli, että yhteyttä etsittiin kapeasta tutkimusmateriaalista: tutkimusjulkaisuista ja laboratoriomuistiinpanoista. Jacobin laajempi tulkintakehyks on 1700-luvun yleinen ”tieteellistekninen” kulttuuri. Tämän yleisen ilmapiiirin kautta Jacob yhdistää luonnontieteen vallankumouksen ja teollisen vallankumouksen toisiinsa.

²⁰⁰ ”What role did scientific thought play in this immense consequential European development? The answer is essentially none.” McClellan ja Horn 1999, s. 200.

²⁰¹ Lewis Pyensonin ja Susan Sheets-Pyensonin *Servants of Nature* (1999) on opettajalle ja oppikirjan kirjoittajalle arvokas lähde STS-opetuksessa. Kirjassa on käyty systemaattisesti ja kompaktisti läpi eksternalistisia teemoja ja se pyrkii irti Eurooppa-keskeisyydestä. Kirjan teemoja ovat: tarkkuuden ideologian synty ja kehitys, tilastollisen ajattelun synty ja leviäminen, tiede ja tappaminen, tiede Euroopan ulkopuolella, sekä tiede ja uskonto.

²⁰² ”In pre-industrial society, the vast majority of people existed in a close and symbiotic relationship with nature, which was perceived as female, a nurturing mother...Mining was as a rape of the Earth...” Samaan aikaan, kun

- uuden tieteen yhdistäminen renessanssin hovikulttuuriin²⁰³,
- Galilein ”tapauksen” monipuolisten eksternalististen ulottuvuuksien esitleminen laajasti ja niistä ajantasaisten tulkintojen antaminen,
- tieteen vallankumous kilpailun näyttämönä (”Contested area”); tieteen vallankumous on kirjoittajien mielestä nähtävä aatteiden, metodien, aktoreiden moninaisuutena ja näiden tahojen välisenä kilpailuna, ja tämä moninaisuus on yhdistettävä sekularisoituvan eurooppalaiseen 1600-luvun yhteiskuntaan ja muotoutuviin kansallisvaltioihin²⁰⁴,
- 1700-luvun luonnontieteelle annettiin luonnontieteen sosiaalishistoriaan painottuminen²⁰⁵, tekijät kuvaavat tarkasti 1700-luvun uudet piirteet, kuten tiedeseurojen leviämisen ja kasvun, luonnontieteelliset julkaisut, luonnontieteen popularisoinnit ja niiden yhteydet tekniikkaan ja talouteen,
- luonnontieteen ja politiikan liittäminen kiinteästi yhteen (pääluku Tiede ja Imperiumi), on merkille pantavaa, että evoluutioteorialle annetaan sekä internalistinen että eksternalistinen kontekstuaalinen esittely,
- teknistaloudellisen näkökulman esittäminen historiasta (”pääluvut Kemia, teollisuus ja valtio, synteettisten materiaalien synty”),
- tieteen ja sodan liittäminen kiinteästi toisiinsa ja 1900-luvun ”Big Science” -näkökulman avaaminen luonnontieteeseen (luku ”Varmuuden kuolema”).²⁰⁶

Opetussuunnitelmien uudistuspyrkimysten, luonnontieteen historian opetuskokeilujen, luonnontieteen historian tutkimusyhteisön ”Big Picture”-keskustelun ja käytännön yleisesitysanalyysin perusteella voidaan todeta yhteenvetona, että hyvän luonnontieteen historian opetuksen halutaan etenevän kahta päälinjaa: ensinnäkin on opetettava länsimaisen, modernin tieteen erityislaatu, mutta toisaalta on pyrittävä asettamaan opittu kuva länsimaisesta tieteestä kriittisen tarkastelun kohteeksi. Tämä merkitsee tasapainon etsimistä internalistisen ja eksternalistisen perinteen välille. Tällöin suositeltavin opetuksen kehittämisessä käytettävä materiaali on ryhmän 3.2.4 tutkimukset, joissa on ylitetty perinteiset tieteenfilosofiset kiistat ja annettu uusia sisältöjä luonnontieteen historian opetuksen kehittämiseen. Tämän ryhmän tutkimuksista historian sisältöjen kehittäjä saa todennäköisesti eniten ajanmukaista luonnontieteen historiallista aineistoa oppimateriaalin kehittämiseen.

nainen menetti sosioekonomisen asemansa ja syrjäytettiin esiteollisesta tuotantoprosessista, tiede siirtyi mekanistiseen tulkintaan tiedosta. Tiedosta tuli elotonta, mekaanista ja maskuliinista. Ede ja Cormack 2002, s. 176.

²⁰³ Renessanssiajan tutkija toimi uusilla tiedon foorumeilla ja erilaisessa, aktiivisessa sosiaalisessa roolissa: ”The courtly natural philosophers were men of creativity and action, not austere and academic theologians?” Ede ja Cormack 2002, s. 142.

²⁰⁴ Nykyhistorian tutkimus on kyseenalaistanut tieteen vallankumous -käsitteen. Eden ja Cormackin mielestä tieteen vallankumous on edelleen validi luonnontieteen historiallinen käsite. Toisaalta tieteen vallankumoukselle annetaan kirjassa myös Shapinin mukainen sosiaalinen tulkinta. Ede ja Cormack 2002, s.177.

²⁰⁵ Luonnontiede liitetään kahteen aatevirtaukseen: valistusaatteisiin ja nousevan porvariston maailmanvalloitukseen. Ede ja Cormack 2002, s. 182.

²⁰⁶ Big Science -lukujen teemat ovat: evoluution synteesi, Manhattan projekti, DNA:n keksiminen, asevarustelu ja avaruuskilpailu, mies kuussa ja mikroaaltouuni keittiössä: tieteen sovellutukset. Viimeinen luku on ”Uhat ja mahdollisuudet”.

4. LUONNONTIETEEN HISTORIAN OPE- TUKSEN KOLME KEHITTÄMISPILARIA

Luonnontieteen historian opetuskokeilujen ja luonnontieteen historian asiantuntijoiden kannottojen ja popularisointien kautta hahmottuu kolme luonnontieteen historian kehittämiskategoriaa. Millaisia sisältöjä ja tulkintoja oppimateriaalin kirjoittajan tai opetuksen kehittäjän tulisi valita luonnontieteen historiasta? Luonnontieteen historiaa opetuksen kehittämiseen käyttävien kahden suunnan, HPS:n ja STS:n, välillä, on jyrkkiä ristiriitoja. Opetuksen kehittäjän ongelma on, että niin luonnontieteen historian tutkijat kuin luonnontieteen historian opetuksen kehittäjät ovat erimielisiä opetuksessa käytettävästä luonnontieteen historiasta. Opetuksen kehittäjän on tiedettävä millaiset syyt ovat johtaneet ristiriitaisiin tulkintoihin ja millaisiin tieteenfilosofiin sitoumuksiin ne perustuvat ja ennen kaikkea onko nämä ristiriidat otettava huomioon opetuksessa, joka ei ole luonnontieteen tutkimusta eikä myöskään historian tutkimusta. Koska ongelmat ovat tieteenfilosofisia, on niiden ratkaiseminen vaikeaa. Toisaalta voidaan olettaa, että opetuksen tasolla voidaan käsitellä näitä ongelmia ja pohtia, mikä sisältö kuuluu opetukseen, sekä pyrkiä erottamaan hyvä opetustulkinta epäadekvaatista opetustulkinnasta.

NOS-kokeiluissa on tehokkaaksi opetustavaksi havaittu luonnontieteen historian kertomusten käyttö. Luonnontieteen historian tutkimusyhteisössä tai luonnontieteen historian opetuspopularisoinneissa ei tähän historiankirjoituksen perinteeseen ole otettu kantaa. Yleisesti todetaan, että moderni kertomus puoltaa opetuksessa paikkaansa, mutta sen vanhanaikaiset tulkinnat ovat tuomittavia ja myyttiset kertomukset tulee karsia opetuksesta. Tämän vuoksi on erityisesti tarkasteltava opetuksen kertomusperinnettä luonnontieteen historian kannalta. On myös tutkittava, onko luonnontieteen historian sisällöissä olemassa opetustapoja, joita tulisi käyttää erityisesti luonnontieteen historian opetuksessa.

Luonnontieteen NOS-tutkijat ja luonnontieteen historian tutkijat ovat yksimielisiä siitä, että:

1. Luonnontieteen historiassa on sisältöjä, tulkintoja ja kertomuksia, joita opettajan ja opetuksen kehittäjän tulisi välttää. Näitä sisältöjä tai kertomuksia kutsutaan *myyttisiksi* tieteenhistorian kertomuksiksi.

2. On sisältöjä ja kertomuksia, joita tulisi opetuksessa suosia. Nämä sisällöt ovat joko tieteenhistoriallisista syistä adekvaatteja tai erityisesti opetuksellisista syistä suositeltavia.

Tutkimuksen tarkoituksena on kehittää luonnontieteen historian sisältöjä opettamiseen. Tätä tarkoitusta varten on konstruoitu kolme luonnontieteen historian opetuksen kehittämispilari. Internalistinen pilari on tarkoitettu HPS-opetusperinteen tutkimukseen. Internalismiin liitetään luonnontieteen historian opetuksessa käytettyjä käsitteitä: valistuksen suuri kertomus, moderni tiede, länsimainen tiede, induktivismi, hypoteettis-deduktiivisuus, positivismi, comtelaisuus, machilaisuus, paradigma ja kontekstualismi. Näitä HPS-perinteen keskeisiä käsitteitä tutkitaan opetuksellisesta lähtökohdasta. Kun myöhemmin tutkimuksessa analysoidiin lukion historian oppikirjoja, huomattiin niiden tulkintojen olevan luonnontieteen historian kehityksen varhaisvaiheesta: luonnontieteen historian osiota oppikirjoissa hallitsee lähes aina valistuksen suuri kertomus.

Toinen pilari perustuu tieteen sosiologiaan, joka taas on STS-liikkeen taustafilosofia. STS-opetus haluaa korostaa luonnontieteen yhteiskunnallista tulkintaa. Tutkimusperinne on synnyttänyt marxilaisen tulkinnan luonnontieteestä, mertonilaisuuden, tiedeyhteisön, jaetun yhteisöllisen maailmankuvan, ”tacit knowledge”, ”käden tiedon”, tiedon käytännöllisyyden, tieteen ja teknologian vuorovaikutussuhteen (technoscience), tieteellisteknisen kompleksin, sosiologian vahvan ohjelman sekä postmodernin tulkinnan luonnontieteestä. Näitä STS-opetuksen tulkintoja luonnontieteestä pidetään luonnontieteen opetuksessa yhä tärkeämpinä. Mitä nämä käsitteet tarkoittavat ja miten tieteensosiologian tulkinnat olisi otettava huomioon luonnontieteen historian *opetuksessa*?

Tässä tutkimuksessa ei oteta kantaa tutkimuksellisiin kysymyksiin, vaan käsitellään ainoastaan opetusta. Luonnontieteen historian tutkimusperinteessä STS:n ja HPS:n taustafilosofiat kietoutuvat toisiinsa mutkikkaalla tavalla. Peter Galison on kuvannut näitä tietoteoreettisia ongelmia artikkelissaan *Ten Problems in History and Philosophy of Science* (Isis 2008). Hän ei yritä niitä ratkaista vaan hahmottaa ne mahdollisimman selkeästi. Nämä ongelmat koskevat myös opetusta ja luonnontieteen historian yleisesitysten kirjoittamista. Tämän tutkimuksen kannalta keskeisiä ongelmia ovat internalistisen ja eksternalistisen kontekstin tulkinnat. Missä kohdassa opetuksellista kertomusta on siirryttävä perinteitä erottavan rajalinjan yli ja mitä on otettava toisesta ja mitä toisesta perinteestä?

Kahden perinteen tyypillisin rajalinjaongelma ovat Galisonin artikkelin luonnontieteen historian ongelmat, jotka koskevat luonnontieteellisen tiedon *lokaalisuutta ja globaalisuutta*. Lokaalisuudella tarkoitetaan, että kaikki ”keksinnöt” syntyvät määrättyssä paikassa, sosiaaliryhmässä ja tietyssä ajassa. Mikrohistoriallinen tutkimus on paljastanut yhä enemmän paikallisia luonnontieteen historiallisia piirteitä. Galison kysyy, milloin voimme nostaa jotkin paikalliset piirteet tyypillisiiksi.²⁰⁷ Näyttää kuitenkin siltä, että tieteellinen tutkimus ei redusoidu paikallisiin case-tutkimuksiin. Galisonin kysyy, onko niin, että jos tarkastelemme historiallista tutkijaa ja hänen toimintaansa liian läheltä, osa luonnontieteestä – se mikä tekee luonnontieteestä tehokkaan ongelmanratkaisijan – saattaa jäädä näkymättömiin.²⁰⁸ Tämä ristiriita tuli konkreettisesti esiin, kun tarkasteltiin kahden perinteen yleistöksiä luonnontieteen historiasta, Cohenin (1985) ja Shapenin (1996).

Tämä on myös opetusta koskeva ongelma: kuinka kaukaa historiallisia ilmiöitä voi ja pitää opetuksellisesti tarkastella, niin että opetettavat ilmiöt olisivat tyypillisiä? Opetuksen olisi kuitenkin sisällettävä paikallista historiaa, jolloin opiskelijat saisivat käsityksen myös tutkimuksen käytännöstä sekä sen inhimillisestä ja erehtyväisestä puolesta. Pelkkä luonnontieteen historian yleinen taso johtaa myyttiseen historiakäsitykseen.

Tällaisia tietoteoreettisia ongelmia ei pyritä ratkaisemaan tässä tutkimuksessa teoreettisella tasolla vaan etsimään perusteita käytännön luonnontieteen historian tulkinta- ja sisältöratkaisuille.²⁰⁹ Näissä kehittämisspilareissa ei pyritä tekemään kattavaa historiografista katsausta

²⁰⁷ “What does it mean to aim exemplification without typicality? And if case studies are paving stones, where does the path lead.” Galison 2008, s. 120.

²⁰⁸ “These larger normative roles, techniques, and methods are not just misunderstood: they are invisible when the view is too close.” Galison 2008, s. 122.

²⁰⁹ Galison 2008, s. 111–124.

luonnontieteen historiaan vaan luomaan pohjaa opetuksen sisältöjen käytännön ratkaisuihin. Näitä kehittämispilareita voidaan käyttää suomalaisten historian oppikirjojen sisältöanalyysissä ja kirjojen sisältöjen kehittämisen lähtökohtana.

Kolmatta tässä tutkimuksessa tutkittavaa kehittämispilaria (N-pilaria), narratiivien kehittämistä, ei löydy Galisonin listalta, sillä se ei kuulu kontekstuaaliseen historiantulkintaan. Luonnontieteen historian tutkimusyhteisö on analysoinut kolmannenkin kehittämispilarin luonnontieteen historian kirjoituksen kannalta. Narratiivinen kehittämispilari on opetuksen kehittämiseen suunnitelluista tieteen luonteen opetuskokeiluista, joissa käytetään *henkilöhistoriallisia kertomuksia* luonnontieteen opetuksen tehostajana tai elävöittäjänä, sekä kirjoittajan omien opettajakokemusten perusteella. Narratiivikehittämispilarissa tutkitaan tarinoiden ja henkilöhistorian käytön opetuksellisia perusteita ja pyritään löytämään käytännön opetusratkaisuja kertomusten käyttöön ja niiden valintaan.

4.1 INTERNALISMI LUONNONTIETEEN HISTORIAN OPETUKSESSA: VALISTUKSEN SUURESTA KERTOMUKSESTA HPS-KONTEKSTUALISMIIN

4.1.1 VALISTUKSEN LUONNONTIETEEN EDISTYSKERTOMUS JA TIETEENFILOSOFISEN RATIONAALISEN REKONSTRUKTION SYNTY

1700-luvun lopulla vakiintui luonnontieteen historian ensimmäinen keskeinen opetuksellinen tulkinta, ns. valistuksen suuri kertomus luonnontieteen historiasta.²¹⁰ Tämän tulkinnan mukaan astronomiassa ja mekaniikassa oli tapahtunut 1600-luvulla ainutlaatuinen vallankumouksellinen kehitys. Vanha vaeltajien eli planeettojen ratojen ongelma oli ratkaistu. Kuunyliset ja kuunaliset maailmankaikkeuden osat oli yhdistetty samojen universaalisten lakien alaiseksi maailmaksi. Tähtitiede tuotti uutta tietoa kiihtyvään tahtiin tarkoilla ratakuvauksilla ja yhä voimakkaammilla kaukoputkilla. Uusi mekaaninen maailmankuva verifioitui 1700-luvulla vakuuttavalla tavalla. Tieteen instrumentit ja mittalaitteet olivat 1700-luvun lopulla jo hyvin tarkkoja, ja aika oli kypsä myös kemian vallankumoukselle.

1700-luvulla Isaac Newtonin (1642–1727) elämäntyöhön perustunut maailmankuva, newtonismi, levisi valistusfilosofien, etenkin Voltairen, propagoimana Eurooppaan ja erityisesti Ranskaan. Newtonin julkaistut teokset *Principia* (1687) ja *Optics* (1704) olivat perustana syntyneessä matemaattisessa luonnonfilosofiassa, sekä siihen liittyvässä eksperimentaalisessa tutkimusmenetelmässä. Valistusfilosofi d’Alembert tulkitsi luonnontieteen historiaa *Suuressa Ensyklopediassa* (1751–1772) siten, että kolme tieteenalaa, geometria, astronomia ja mekaniikka, olivat kehittyneet täydellisiksi tieteiksi.²¹¹ Mekaniikka ja taivaanmekaniikka toimivat esikuvina kaikkien muidenkin luonnontieteiden kehitykselle: pyrittiin etsimään luonnosta vallitsevia voimia (kuten gravitaatio) ja kuvaamaan näiden voimien vaikutuksia matemaattisesti. Luonnonlaeista johdetut seuraukset voitiin uusilla havainnoilla todentaa eli verifioida. Juuri näin mekaniikan ja taivaanmekaniikan lainalaisuudet vahvistuivatkin. Suuren Ensyklopedian taustahahmot Denis Diderot ja d’Alembert kuvasivat tieteen syntyprosessin Galileo Galileista Isaac Newtoniin ja filosofi John Lockeen asti.²¹² Valistuksen luonnontieteen syntytarina vakiintui kertomukseksi Newtonin ja Galilein kaltaisten suurten nerojen herooisesta taistelusta tietämättömyyden ja pimeyden voimia vastaan. Näitä voimia edustivat uskonto ja erityisesti katolinen kirkko.

Valistuksen luonnontieteen historiankirjoitus antoi tieteen vallankumoukselle kuvauksen, joka painotti *tutkimusmetodissa* tapahtunutta vallankumousta. Tämän tulkinnan mukaan tämä vallankumouksellinen muutos oli alkanut 1500-luvulla uudesta induktiivisesta tutkimustavas-

²¹⁰ Kathrin Oleskon mukaan valistuksen kertomuksen usko edistykseen ja luonnontieteen kehitykseen vakiintui historian tulkintana suuren Encyclopedian (1751–1772) ansiosta. Olesko, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 366.

²¹¹ 1700-luvulla alettiin julkaista tieteellisiä sanakirjoja. Niistä ensimmäinen oli John Harrisin *Lexicon Technicum*. Se keskittyi luonnonfilosofiaan, matematiikkaan ja tekniikkaan. Kuuluisin ja laajin näistä sanakirjoista oli *Encyclopedie, ou Dictionnaire raisonné des Arts et sciences* (1751–1772). Toimittajina olivat Denis Diderot ja Jean Le Rond d’Alembert. Richard Yeo, *Encyclopedias*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 252.

²¹² Arnold Thackreyn artikkelin *A Guide to Culture of Science, Technology and Medicine* 1984, mukaan 1700-luvun alkuun mennessä ”luonnon tieto” oli vakiinnuttanut asemansa erillisenä kulttuurijuonteena, jolla oli institutionaalisesti vakiintuneet muodot erityisesti Lontoossa ja Pariisissa. Thackrey korostaa kuninkaallisten tiedeseurojen ansioituneiden jäsenten muistokirjoituksia tieteenhistorian kirjoituksen ensimmäisinä lähteinä. Niissä arvioitiin edesmenneiden tutkijoiden elämäntyötä ja heille myönnettiin luonnontieteen sankarin arvonimi. Näin sai alkunsa luonnontieteen historialle tyypillinen ”heroic biography” eli sankarielämäkerrat.

ta, aktiivisesta havainnoinnista, jonka englantilainen Francis Bacon oli kehittänyt. Tätä uutta induktiivista menetelmää oli Galileo Galilei 1600-luvulla soveltanut käytäntöön. Kun induktio oli keksitty, muu luonnontieteen historia oli kehitetyn metodin soveltamista. Valistuksen luonnontieteen historian tulkinnassa tieteenfilosofia sekoitetaan usein tieteenhistoriaan, kun oletetaan, että ”induktio” tai ”deduktio” ovat historiallisia luonnontieteen tutkimuskuvauksia. Induktio ei ole historiallinen kuvaus luonnontieteen pitkällisestä ja vaikeasta kehitysprosessista.²¹³ ”Induktio” on tieteenfilosofien varhainen, ongelmalliseksi todettu yritys kuvata luonnontieteen tärkeintä universaalia piirrettä. Luonnontieteen tutkijat kuitenkin tutkivat luontoa ja sen ilmiöitä käytännössä.²¹⁴

Luonnontieteen historian popularisointien mallina on ollut nykypäiviin asti positivismiksi kutsuttu tieteenfilosofian virtaus. Auguste Comten (1798–1857) kirjaa *Cours de Philosophie Positive* (1830 – 1842) voidaan pitää positivismin merkkiteoksena. Comten mukaan yhteiskuntien yleinen evoluutio kulkee kolmen tiedollisen kehitysvaiheen kautta:

1. Teologinen vaihe, jolloin luonnonilmiöt selitetään jumaluuksien vaikutuksella.
2. Metafysinen vaihe eli abstrakti vaihe, jolloin luonnonilmiöt selitetään filosofisilla järjestelmillä (aristotelismi, karteesiolaisuus).
3. Positiivinen vaihe eli tieteellinen vaihe, jolloin luovutaan voimien tuhlaamisesta teologiseen tai filosofiseen spekulatioon. Ilmiöiden välisiä suhteita kuvataan matemaattisina malleilla (esim. newtonismi).²¹⁵

Kaksi ensimmäistä vaihetta olivat Comten mielestä historiallisessa mielessä arvottomia.²¹⁶ Positiivisessa, tieteellisessä vaiheessa, ihmiskunta hylkää luonnonilmiöiden syiden etsimisen. Ensimmäiseksi positiiviseen tieteen vaiheeseen olivat tieteenaloista päässeet matematiikka, astronomia ja ”matemaattinen mekaniikka”.²¹⁷ Nämä tieteenalat olivat tieteen hierarkiassa

²¹³ Valistuksen aikaisen tieteenfilosofisen näkemyksen mukaan tiede syntyi, kun alettiin tehdä ennakkoluulottomia havaintoja. Lorraine Daston tarkastelee artikkelissa On Scientific Observation 1900-luvun tieteenfilosofisen virtauksen, loogisen positivismin, pyrkimystä ”puhtaisiin havaintoihin” ja ”neutraaliin havaintokieleen”. Tämä ohjelma epäonnistui, sillä ilmiöitä tarkastellaan aina jostain näkökulmasta. Daston viittaa ilmiöstä eri tieteenfilosofien käyttämiin termeihin: teoria, maailmankuva, linssi, tarkkailuhorisontti tai filtti. jne. Lorraine Daston, On Scientific Observation, Isis 2008, s. 97.

²¹⁴ Sekaannus metodin kuvauksissa johtuu siitä, että kaikki 1600-luvun tieteen vallankumoukselliset suhtautuivat vakavasti tieteen metodin klassikoihin, kuten Aristoteleen *Analytica Posteriora*an ja Eukleideen geometriaan. He kommentoivat klassikkoja ja itsekin kirjoittivat tieteen metodista. He eivät historiallisessa mielessä kuvanneet oman tutkimuksensa metodia. René Descartes, Francis Bacon ja Isaac Newton ottivat kantaa induktion, deduktion, analyysin ja synteessin käsitteisiin. Luonnontieteen historian ja tieteenfilosofian uusin tutkimus liittyy keskustelun metodista retorikkaan, jolla pyrittiin legitimoimaan tutkimus ja vakuuttamaan lukijat. Kyseiset tutkijat eivät kuvaa, mikä heidän metodinsa oli, vaan sitä millaista tutkimuksen tulisi heidän mielestään olla. Rachel Laudan, *Method, Scientific* (toim. J. Heilbron) 2003, s. 520. Lynn S. Joy, *Scientific Explanation*, teoksessa Katherine Park ja Lorraine Daston (toim.) 2006, s. 85–87, 89–93 ja 99–105.

²¹⁵ Auguste Comte and Positivism, the Essential Writings, (ed. Gertrud Lenzer) 1975, s. 71.

²¹⁶ H. Floris Cohen, *The Scientific Revolution* 1994, s. 35.

²¹⁷ 1700-luvulla alettiin tieteessä käyttää käsitettä ”*matematica mixta*”, joka oli silloisen luonnonfilosofian uusin ja tärkein osa. Sen asema oli vahva luonnonfilosofian oppikirjoissa ja ensyklopedioissa. Nykyisin se kuuluisi osaksi mekaniikkaan, tekniikkaan ja insinööritieteisiin. Muutos on tässä mielessä syvälinen, kun verrataan 1600-luvulla

erityisasemassa, sillä muut luonnontieteet (fysiologia, biologia, kemia) olivat vasta matkalla korkeimpaan vaiheeseen. Ihmistä käsittelevät sosiaalitieteet olivat vasta polkunsa alussa kohti tieteellistä vaihetta.²¹⁸ Positiivisen tieteen pyrkimyksenä oli löytää ilmiöiden taustalla olevat luonnonlait ja kuvata luonnonlakeja matemaattisesti.

Uuden positiivisen vaiheen aloittajana Comte näki Galileo *Galilein*. Comte tulkitsee positivistisesti Newtonin maksiimiohjetta: ”En rakentele hypoteeseja (hypotheses non fingo)”. Hypoteeseista ja spekulatiosta tuli comtelaisen positivismin kiro sanoja. Luonnontieteen historiasta Comte löysi useita esimerkkejä ajoista, jolloin tätä ohjetta ei ollut noudatettu ja tyhjä spekulatio oli saanut vallan. Positivismin päämäärä oli tiedon suuri puhdistus. Comten tulkinnan mukaan positiivinen tiede oli pudottanut perustan teologialta ja filosofialta.²¹⁹ Hänen mukaansa positiivisen vaiheen vaatimuksia varten suunnitellun koulutusjärjestelmän tuli pitää huolta siitä, että luonnontieteen kehityksen kahden ensimmäisen vaiheen vahingollisista ajatusjärjestelmistä päästäisiin eroon.²²⁰ Comten kirjassa näkyy voimakas uskonnonvastaisuus, josta tuli varhaisen luonnontieteen historian perusteema. Uskonto ja erityisesti katolinen kirkko ovat Comten mukaan olleet totuuden suurin vastustaja. Luonnontieteen historian popularisointeihin onkin levinnyt myyttinen käsitys uskonnosta tieteen vihollisena. Tätä käsitystä kutsutaan uskonnon ja tieteen ”konfliktimalliksi”. Luonnontieteen historian tutkijat ovat kritisoineet sitä voimakkaasti.²²¹

Vaikka Comte ei siis varsinaisesti kirjoittanut historiaa, suuri osa *Cours de Philosophie Positive* ensimmäisestä osasta käsittelee luonnontieteen historiaa ja hänen kirjansa tulkittiin luonnontieteen historiaksi. Kirja oli kuitenkin ytimeltään poliittinen ja filosofinen. Myöhemmissä kirjoituksissaan Comte hahmotteli luonnontieteen positiivista vaihetta vastaavan teknokraattisen teollistuneen yhteiskunnan, jossa uskonnon asemaan oli nostettu luonnontiede ja uutena papistona toimivat tiedemiehet.²²²

Comten vaikutus oli erityisen suuri Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Latinalaisessa Amerikassa. Tieteen historioitsija Arnold Thackrey nostaa Comten juuri tästä syystä 1800-luvun merkittävimmäksi luonnontieteen historian kirjoittajaksi tai oikeammin luonnontieteen historian käyt-

vallalla olleen aristoteelisen luonnonfilosofian sisältöihin. Daniel Garber, *Physics and Foundations*, teoksessa Katherine Park ja Lorraine Daston (toim.) 2006, s. 25.

²¹⁸ Auguste Comte and Positivism, *The Essential Writings* 1975, s. 106.

²¹⁹ *ibidem*, s. 135.

²²⁰ *ibidem*, s. 81.

²²¹ Erityisesti opiskelijoita varten kootussa uskontoa käsittelevässä kirjassa *When Science & Christianity Meet* (2003) käsitellään uskontoa ja tieteen myyttisiä kertomuksia. Niiden perusmuoto on Lindbergin mukaan yksinkertainen *konfliktimalli*, uskonto tieteen vihollisena. Myös uskonto, kristillisyys ja kirkko ovat perheyhtäläisyys käsitteitä, joilla on monia erilaisia merkityksiä. Teoksessa Lindberg ja Numbers toim. 2003, s. 1–4. Yhdysvalloissa comtelaista positivismia levitti tehokkaasti kasvatusfilosofi ja diplomaatti Andrew Dickson White, joka kirjoitti kirjan tieteen ja uskonnon ristiriidasta: *History of Warfare of Science with Theology of Christendom*. Rachel Laudan, *Positivism and Scientism*, teoksessa ed. J. Heilbron 2003, s. 670. Keskiajan tieteenhistorian tutkija David Lindbergin mukaan White levitti kirkonvastaisuuden sanomaa kaikkein tehokkaimmin valistuneen yleisön keskuuteen ja kirjan vaikutukset näkyvät vielä tänäkin päivänä, David Lindbergh, *Medieval Science and Its Religious Context*, *Osiris* 1995, s. 62

²²² Val Dusek, *Philosophy of Technology: an Introduction* 2004, s. 45.

täjäksi.²²³ Comtelaisuus sai paljon kannattajia sivistyneistön keskuudessa yksinkertaisen historiallisen tulkintansa ja selkeän poliittisen ohjelmansa vuoksi.²²⁴

Englantilainen William Whewell (1794–1866) on pidetty Auguste Comtea taitavampana historiankirjoittajana. Hän hahmotti luonnontieteen historiallisen kehityksen metaforalla ”tiedon puu” ja luonnontieteen historiallisen muutoksen ”tiedon puun” kasvuksi. Puun rungon muodosti oikea tieteenfilosofia, ja erityistieteenalat olivat oksistoa. Whewell hyväksyi valistuksen tieteenfilosofisen painotuksen, jonka mukaan tiede perustui tarkkoihin havaintoihin.²²⁵ Induktion käyttö eli yleistysten johtaminen tarkoista havainnoista²²⁶ erotti oikean luonnontieteen antiikin luonnonfilosofiasta. Hajanaiset havainnot ja ideat yhdistyivät harvemmiksi tieteelliseksi ideoiksi, aivan kuin puot yhdistyivät suureksi tiedon kymeksi tai oksat liittyivät isompiinoksiin ja lopulta tiedon tukevaan runkoon.²²⁷ Esimerkiksi Johannes Kepler yhdisti Brahen tarkat havainnot kolmeksi matemaattiseksi ideaksi. Kepler, Descartes, Galilei ja Huyghens kehittivät suuren joukon tällaisia ideoita. Hedelmällinen kausi päättyi yleiseen synteisiin, jolloin uusi tieteellinen teoria yhdisti edeltävät erilliset ideat yhtenäiseksi teoriaksi. Näin oli tapahtunut klassisen mekaniikan synnyssä.²²⁸ Yksittäiset havainnot ja joukko teorioita astronomiassa yhdistyivät Newtonin Principian suureksi synteetiksi (tributary river), kolmeksi luonnonlaiksi ja niiden matemaattisiksi sovellutuksiksi euklidisessa avaruudessa. Whewellin hahmottelema puu tai joki oli yleinen muoto, jonka mukaan luonnontiede historiallisesti kehittyi: induktiivinen epookki seurasi toistaan, ja tieteenala toisensa jälkeen kehittyi historialliseen kypsyyteensä, liittyen tukevana oksana induktiiviseen tieteen runkoon. Valistuksen ajasta lähtien eräs tieteenfilosofien hellimä ajatus onkin ollut luonnontieteen *metodinen ykseys*.

Whewellin näkemys sopi hyvin 1800-luvun luonnontieteen kehityksen kuvaukseksi. Tätä vaihetta kutsutaan luonnontieteen historiassa luonnontieteen toiseksi vallankumoukseksi. Kemian vallankumous oli tapahtunut jo 1700-luvun lopulla (Lavoisier), geologian (Lyell) ja ”biologian” (Darwin) kumoukset olivat oksien versoina jo valmiina kasvamaan ja kehittymään.²²⁹ Tärkein tutkijoita erottava tekijä oli suhtautuminen metafysiikkaan. Jos Comte suhtautui vihamielisesti metafysiikkaan, niin Whewellin mukaan luonnontiede taas ei voi koskaan hylätä metafysiikkaa, koska luonnontieteen suurimmat edistysaskeleet olivat syntyneet

²²³ Comten voimakas vaikutus luonnontieteen historiaan jatkui Arnold Thackreyn mukaan ensimmäisen maailmansodan loppuun asti; Thackrey (teoksessa toim. P.T. Durbin) 1984, s. 11–12.

²²⁴ Comtelaisuus oli voimakas vaikuttaja 1800-luvun lopun älymystön aatemaailmassa. Maineikkaat ranskalaiset tiedemiehet Claude Bernhard ja Marcellin Berthelet omaksuivat comtelaisen positivismin ja edistivät sen leviämistä yhteiskuntafilosofiana. Englantilainen filosofi John Stuart Mill käänsi Cours de Philosophie Positiven englanniksi. Comtelaisuuden keskeiset ideat levisivät laajalle kirjallisuuden kautta, muun muassa George Eliotin romaanien ja John Spencerin esseiden välityksellä. Comten poliittinen päämäärä oli yhdistää Euroopan älyllinen eliitti yli poliittisten rajojen. Tieteen positiivinen vaihe merkitsisi myös ihmiskunnan siirtymistä rauhan aikakauteen. Tätä tulevaisuuden visiota hän nimitti ”Euroopan vallankumoukseksi”. Karl Hall, Positivism, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 279. Comte oli ensimmäinen, joka käytti tieteenhistorian keskeistä käsitettä ”tieteen vallankumous” ja vallankumouksen positivistinen tulkinta onkin siirtynyt useimpiin tieteen popularisointeihin.

²²⁵ William Whewell, On the Philosophy of Discovery, 1971, s. 8.

²²⁶ Val Dusek 2004, s. 6–8.

²²⁷ John Losee, A Historical Introduction to the Philosophy of Science, 2001, s. 11.

²²⁸ Whewell 1971, s. 9.

²²⁹ Samantyyppisiä vallankumoustulkintoja löytyy kahdesta luonnontieteen historian yleisesityksestä, jotka soveltuvat internalististen opetustapausten pohjaksi, Stephen Brushin kirjasta The History of Modern Science (1988) ja I. Bernard Cohenin kirjasta Revolution in Science (1985).

tutkijoiden luovan panoksen siis rohkean uuden metafyyssisen spekulatiivisuuden kautta. Tieteen vallankumouksen suurten nerojen metafysiikka oli syvempää ja parempaa kuin aiempien tutkijoiden. Whewellin mukaan metafyyssiset kiistat eivät olleet uhka tieteelle vaan edellytys tieteen kehitykselle.²³⁰

William Whewell ei käyttänyt käsitettä tieteen vallankumous. Hän oli ytimeltään historioitsija ja näki luonnontieteen kehitysprosessin historiallisena jatkumona.²³¹ Uusi teoreettinen synteesi selitti kaikki aiemmat tosiasiat ja kattoi vielä suuren joukon uusia. Whewell yhdisti tieteenfilosofian ja historiallisen kerronnan tavalla, josta tuli malli monille historiantutkijoille.²³² Hän pyrki kuvaamaan tieteen kehitystä ”rationaalisen rekonstruktion” mallin mukaisesti. Näin luonnontieteen historian kehitysprosessin malliksi tuli kirjoitushetkellä vallitseva tieteenfilosofinen käsitys luonnontieteen oleellisista piirteistä. Jos käsitys oli esimerkiksi induktiivinen tai hypoteettis-deduktiivinen, kirjoitettavasta luonnontieteen historiasta karsittiin luonnontieteen kehityksen kannalta ”merkityksettömät” faktat ja harhapolut pois.

4.1.2 ERNST MACH: LUONNONTIETEEN HISTORIAN MERKITYS VAHVISTUU OPETUKSESSA

Luonnontieteen opettaminen ei ole sama kuin luonnontiede, tieteenhistorian opettaminen ei ole sama kuin tieteenhistoria, oli Ernst Machin tärkeitä oivalluksia. Molemmat olivat yksilön henkisen kasvun, sivistyksen kannalta tärkeitä. Itävaltalainen Ernst Mach (1838–1916) oli luonnontieteen historian toisen päähaaran, luonnontieteen historian internalistisen (HPS) opetuksen uranuurtaja.²³³ Mach on luonnontieteen opetushistorian keskeisimpiä vaikuttajia, ja hänet on tällä vuosituhannella nostettu suureen arvoon.²³⁴ Mach uskoi luonnontieteen sivist-

²³⁰ William Whewell, *On the Philosophy of Discovery* 1971, s. 228

²³¹ Whewell 1971, s. 7.

²³² Luonnontieteen historia on deskriptiivistä (kuvaavaa) ja tieteenfilosofia pyrkii suuriin yleistyksiin eli on luonteeltaan normatiivista, ja tämä johtaa historian ja tieteenfilosofian perusristiriitaan (the better history, worse philosophy - ilmiö). Tieteenfilosofian nykyinen naturalistinen suuntaus tarvitsee tieteenhistorian yksityisiä case-tapauksia tieteenfilosofiin yleistykseen. C. Pinnickin ja G. Galen mukaan tämä aiheuttaa välttämättä ristiriidan näiden kahden tieteenalan pyrkimysten välillä. *Philosophy of Science and History of Science: A troubling interaction*, *Journal for General Philosophy of Science* 2000, s. 109–125. Myös Thomas Nickles, *Philosophy of Science and History of Science*, *Osiris* 1995, s. 137–163.

²³³ Manfred Euler korostaa Machin merkitystä luonnontieteen opetuksen kehittäjänä, joka käytti luonnontieteen historiaa opetusmateriaalina. Hänen pyrkimyksenä oli yhdistää humanismi ja luonnontieteet sivistyksen pohjaksi laajoille kansanjoukoille. Euler, *Revitalizing Ernst Mach's Popular Scientific Literacy*, *Science & Education* 2006. Mach korosti luonnontieteen käsitteiden ja teorioiden rationaalisuutta. Tämän vuoksi ne on asetettava etusijalla koulutuksessa. Eulerin mukaan tätä postmodernit tutkijat eivät voi hyväksyä: ”Some of the postmodern approaches to science and science education seem to ignore the rich philosophical tradition on which science is built.” Euler 2006, s. 9.

²³⁴ Michael Matthews korostaa kirjassa *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science* (1994) erityisesti Machin merkitystä luonnontieteen opetuksen HPS-sovellusten kehityksessä, vaikka anglosaksinen maailma ei hänen tuotantoaan ole tuntenutkaan. Machin mukaan luonnontieteen opetus oli laadittava kestäväälle tieteenfilosofiselle pohjalle, joka perustui seuraaville opetuksellisille periaatteille: tieteellinen teoria on älyllinen konstruktio, joka perustuu ajatuksen ekonomialle ja tätä kautta yhdistyy myös kokemukseen. Luonnontiede on erehtyvää, eikä voi saavuttaa ehdotonta totuutta. Edelleen luonnontiede liittyy aina historialliseen asiayhteyteen ja luonnontieteellinen teoria voidaan ymmärtää vain, jos sen historiallinen kehitys ymmärretään. Historiansa kautta luonnontieteelliset teoriat ja käsitteet ymmärretään syvällisesti. Historiallisesta autenttisuudesta on usein tingittävä, jotta opiskelijat saataisiin ymmärtämään vaikeat peruskäsitteet. Machin opetusperiaatteet olivat seuraavat: aloita helpoista ja tutuista asioista, opeta vähän, mutta perusteellisesti, ota huomioon oppijan taso ja kapasiteetti, opeta asiat historiallisessa

tystehtävään ja siihen, että luonnontieteen historialla oli erityisesti opetuksessa keskeinen sija. Voidaan sanoa, että NOS-opetuksessa Ernst Mach on löydetty uudestaan.²³⁵

Mach oli laaja-alainen tiedemies: fyysikko, tieteenfilosofi, luonnontieteen historioitsija ja vielä erityisesti kasvatusfilosofi. Hän vahvisti luonnontieteen historian tulkinnan positivistista perinnettä, jossa historia on alistettu filosofisen tulkinnan pohjamateriaaliksi. Näin Mach oli epähistoriallinen positivist. Machin positivismi oli kuitenkin vivahteikkaampaa kuin Comten. Machin mielestä luonnontieteen historia on luonnontieteen opetuksen tärkein sisältö. Historiasta oli opetuksen keskiöön nostettava luonnontieteen kannalta mielenkiintoisia ja kiehtovia ongelmia. Historiallisessa tilanteessa nämä ongelmat ovat usein olleet tieteenfilosofisesti monimutkaisia ja saaneet tiedemiehet intohimoisesti kiinnostumaan tutkimuksesta. Machin käyttämä luonnontieteen opetushistoria on tämän vuoksi kiehtovaa ja haastaa opiskelijan ajattelemaan. Erityisen tärkeitä Machin mielestä olivat historialliset ajatuskokeet, joita tarkastelemalla vaikeitakin luonnontieteisiin liittyviä ideoita voidaan ”syväöppää”²³⁶ Luonnontieteen historian kautta voidaan pysähtyä pohtimaan luonnontieteen keskeisiä käsitteitä ja niihin liittyviä tulkinnallisia ongelmia.²³⁷ Pysähtyminen ja käsitteiden perusteellinen tarkastelu johtaa luonnontieteen perusteelliseen oppimiseen sekä problematisoivaan ja filosofiseen tietokäsitykseen.

Mach vakiintui 1900-luvulla vaikuttaneiden positivististen tieteenfilosofien esikuvaksi. Vuonna 1883 Mach julkaisi kirjan *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*.²³⁸ Kirjassa hän käsitteli klassisen mekaniikan historiallisia ja filosofisia perusteita. Hän käytti historiaa positivistisen filosofisen järjestelmänsä perustana. Hänen pyrkimyksensä oli metafysiikan hävittäminen luonnontieteestä. Tähän päästiin huolellisen tieteenfilosofisen käsiteanalyysin kautta. Machin mukaan oli ymmärrettävä, että luonnontieteen teorit olivat ”todellisuuden” kuvauksia, eivät ilmiöiden selityksiä; tieteen tehtävä oli kuvata ilmiöitä mahdollisimman tarkasti, ei pohtia ilmiöiden takana olevaa todellisuutta.²³⁹

järjestyksessä, pohdi filosofisia kysymyksiä, jotka historiallisesti synnyttivät tieteen. Matthews 1994, s. 94. Machin merkityksestä myös Michael Matthews 1997, sekä Manfred Euler 2006.

²³⁵ Michael Matthews 1994, s. 105–101.

²³⁶ Machista lähtenyt ”historiallisten ajatuskokeiden” opetusperinnettä käytetään klassisen mekaniikan opetuksen yhteydessä. Niiden avulla voi käsitellä luonnontieteen käsitteisiin liittyviä vaikeita tieteenfilosofisia ongelmia. Igal Galili on tutkinut laajasti historiallisten ajatuskokeiden opetuskäyttöä. Katsaus tutkimukseen artikkelissa Galili, Thought Experiments: Determining Their Meaning, Science & Education 2009.

²³⁷ Luonnontieteen historia muistuttaa HPS-opetuksessa filosofiaa. Tärkeää ei ole muistaa vuosilukuja, nimiä tai keksintöjä, vaan ymmärtää jonkin käsitteen historiallinen merkitys. Näin ymmärretään syvällisemmin luonnontieteen luonnetta.

²³⁸ J.L. Heilbron suosittelee Machia opetuksen artikkelissaan History in Science Education, with Cautionary Tales about the Agreement of Measurement and Theory, Science & Education 2002, s. 322: ”It is not strictly a history, but a selection of problems important in the development of mechanics together with instructive analyses based on the solutions proposed at the time. Some very important people profited from studying Mach’s Mechanik, Planck and Einstein among them, though, to be sure, both later repudiated him. If critical history helped form Planck and Einstein, we are well advised to find a place for it, suitably updated, in our curricula.”

²³⁹ Teorioiden, havaintojen ja todellisuuden välinen suhde on osoittautunut tieteenfilosofiassa kiperäksi pulmaksi. 1900-luvun alussa Pierre Duhemin ja myöhemmin Orman van Quinen mukaan emme voi havaintojen perusteella koskaan falsifioida teorioita ja Norwood Hansonin mukaan kaikki havainnot ovat sinällään jo teoriapitoisia. Machin käsitys havainnoista taas oli monimutkainen: hän kritisoi yksinkertaista passiivista sensualismia ja korosti havaintojen aktiivisuutta. Historialliset ajatuskokeet ja toteutetut historialliset laboratoriokokeet ilmensivät juuri aktiivista havainnointia. Hyvä selvitys tieteenfilosofisesta kiistasta löytyy kirjasta Kiikeri ja Ylikoski 2004, s. 208–232. Lorraine Daston kuvaa luonnontieteen havaintojen teoriapitoisuutta seuraavasti: ”It is observation, grounded in trained,

Mach nosti luonnontieteen historian keskeiseksi vaikuttajaksi Galileo Galilein.²⁴⁰ Tämä ei johtunut niinkään Galilein historiallisesta merkityksestä, vaan siitä, että Galilein pääteokset oli tuohon aikaan julkaistu ja helposti saatavilla. Galilein tuotannosta löytyi elementtejä, joita Mach tarvitsi filosofiseen tulkintaansa. Mach pyrki osoittamaan, että Galilei oli modernin tieteen aloittaja.²⁴¹ Galilein toimintaa, kirjoituksia, motiiveja ja keksintöjä on myöhemmin tutkittu laajasti ja on löydetty monta Galileita, jotka toimivat monilla tiedon ja vallan areenoilla: tutkija, peluri poliittisen vallan näyttämöllä, luonnonfilosofi ja teologi.²⁴² Galilei käytti monenlaisia vaikutuskeinoja pyrkiessään tieteelliseen ”totuuteen” ja urallaan eteenpäin. Mach tarvitsi tieteenfilosofiaansa kuitenkin vain yhtä Galileita, joka oli hänen mielestään luonnon-tieteen perustaja, totuuden marttyyri, kokeilija ja empiirikko.

Luonnontieteen pedagogi jätti jälkensä luonnontieteen historian opetukseen. Ernst Machille historia oli selkeästi alisteinen omalle tieteenfilosofiselle tulkinnalle. Tällainen luonnontieteen historian tulkinta on edelleenkin ominaista monille popularisoinneille ja oppikirjatulkintoille.²⁴³ Usein oppikirjoissa tieteen vallankumouksesta annetaan yksiselitteinen, Galileihin painottuva, eksaktiin metodiin ja empirismiin painottuva positivistinen tulkinta. Ammattihistorioitsijat eivät erityisemmin 1900-luvun alussa tutkineet luonnontieteen historiaa; niinpä tutkimuskenttä jäi avoimeksi luonnontieteilijähistorioitsijoille.

4.1.3 DUHEM-TEESIT JA NIIDEN VAIKUTUS

Luonnontieteen historia oli 1800-luvulla alisteinen tieteenfilosofialle. Luonnontieteen historian tutkimus keskittyi erityisesti uuden tieteen²⁴⁴ syntyyn 1500- ja 1600-luvuilla, josta se etsi metodista mallia luonnontieteelle. Valistuksen metanarratiivi Kantin, Comten, Whewellin ja Machin muotoilemana hyväksyttiin yleisesti. Siinä Galileo Galilei kohotettiin uuden ”totuuden marttyyriksi” ja rosvon roolin sai keskiajan maailmankuvaa hallinnut katolinen kirkko. Tätä asetelmaa alettiin luonnontieteen historian perustutkimuksessa horjuttaa 1900-luvun alussa.

Luonnontieteen historian tutkijat olivat aiemmin tutkineet luonnontieteen tuottamia virallisia dokumentteja, julkaistuja tieteellisiä kirjoja ja artikkeleja. Nyt tutkimukseen löydettiin paljon uusia lähteitä, mm. Galilein oikeudenkäynnin pöytäkirjat. 1800-luvun lopun kansallisuusaatteen vaikutus historian tutkimuksessa näkyi luonnontieteen historiassa siten, että kansallisten suurmiesten tuotanto pyrittiin julkaisemaan (mm. Galilei, Euler jne.). Vuonna 1881 alettiin julkaista Leonardo da Vincin käsikirjoituksia. Uuden tieteen synty ei ollutkaan ”yhden mie-

collective, cultivated habit, that fuses these bits and pieces into a picture – often a literal picture crafted by techniques of scientific visualization.” Lorraine Daston, *On Scientific Observation*, Isis 2008, s. 110.

²⁴⁰ Michael R. Matthews, *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science* 1994, s. 99.

²⁴¹ H. Floris Cohen, *The Scientific Revolution* 1994, s. 41.

²⁴² Galilein eri rooleja ovat avanneet seuraavat tutkijat: Rachel Laudan, *Scientific Revolution*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, Moss ja Wallace 2004, Finocchiaro 1999, 2001, 2002 ja 2009, Biagoli 1993, Feldhay 2003 ja Lindberg 2003. Viimeisin kattava Galilein tieteellinen elämäntieto on John Heilbronin *Galileo* 2010.

²⁴³ Dudley Shapere, *Galilei: A philosophical study* 1974, s. 6-8.

²⁴⁴ Termiä uusi tiede käytetään luonnontieteen historian kirjallisuudessa rinnakkain tieteen vallankumouksen kanssa. Käsitteinä ne tarkoittavat samaa asiaa.

hen show”, vaan Galileilla oli todella ollut renessanssiaikaisia ja vieläpä keskiaikaisia edeltäjiä.

Ranskalainen fyysikko, historioitsija, tiedepedagogi ja filosofi Pierre Duhem (1861–1916) julkaisi 1906–1909 lähdesarjan nimeltään *Etudes sur Leonard de Vinci: ceux qu’il a lus ceux qui l’ont lu*. Nämä julkaisut muodostivat perustan ns. Duhem-teeseille, jotka olivat seuraavat:

- uusi tiede syntyi jo 1200-luvulla Pariisin yliopistossa,
- sen lähtökohtana oli Aristoteleen ja Averroesin tuotanto,
- keskeisenä tässä keskiaikaisessa tieteen vallankumouksessa olivat Jean Buridanin (voima – impetusteoria) ja Nicolas Oresmen (voiman geometrinen representaatio) tuotannot.
- tämä perintö siirtyi Italiaan, josta sittemmin uusi tiede sai alkunsa.²⁴⁵

Astronomian historiaa käsitellessään Pierre Duhem esitti käsityksen, joka tunnetaan nimellä ”ilmiöiden pelastaminen”. Sen mukaan kautta astronomian historian tähtitieteen tutkijoiden pyrkimyksenä on ollut kehittää teoria, joka sopii mahdollisimman tarkasti planeettojen liikkeistä tehtyihin havaintoihin. Ptolemaiosta tai Kopernikusta eivät kiinnostaneet, olivatko teorit totta, kunhan ne vain toimivat. Jo antiikin aikana Platon oli asettanut astronomian tehtäväksi pelastaa planeettojen eli vaeltajien ratojen epämääräinen liike ympyrämuotoon. Planeettojen epämääräiset radat voitiin pelastaa ympyröiksi sekä maakeskeisessä että auringokeskeisessä järjestelmässä.

Tähtitieteilijöiden ei tarvinnut huolehtia, oliko matemaattinen kuvaus todellisuudessa olemassa; pääasia oli, että ilmiöitä kuvattiin mahdollisimman tarkasti. Tämä oli Duhemin mielestä astronomian päävirtaus, ja sitä luonnehti osuvasti Andreas Osianderin kirjoittama instrumentalistinen esipuhe Nikolas Kopernikuksen teokseen *De revolutionibus* (1543). Duhemin mukaan maakeskinen ja aurinkokeskinen järjestelmä olivat tasavertaisessa asemassa.²⁴⁶ Itse asiassa maakeskeinen järjestelmä oli erityisesti arabien tekemien korjausten ansiosta planeettojen ratojen kuvauksena hämmästyttävän tarkka.²⁴⁷

Pierre Duhem oli ensimmäinen luonnontieteen historioitsija, joka esitti keskiaikaa koskevan jatkuvuuden teesin (kontinueetti). Tämä jatkuvuus versus vallankumous -kiista on ollut sittemmin tieteenhistorian eräs keskeisimpiä tutkimuskohteita. Edelleen tutkitaan, mikä oli

²⁴⁵ Raimo Lehti käsittelee Duhem-teesejä Nicolas Oresmen Aristoteleen *De Caelo* -teosta kommentoivan teoksen *Livre du Ciel et du Monde* (1377) kannalta. Lehden mukaan on eräitä tekijöitä, joiden vuoksi Oresmesta ei tullut varhaista Kopernikusta. Ajallinen ero tutkijoiden välillä on historiallisesti ratkaiseva tekijä, koska: (1) Kopernikuk-selle oli tarjolla ratkaisevasti enemmän tietoa ptolemaiolaisen systeemin teknisistä ratkaisuista. Tämä teki Koperni-kuksesta luonnontieteilijän. (2) Oresme taas oli spekuloiiva filosofi. (3) Keskiajan tutkimus oli kiinnostunut, miten jokin argumentti sopi yleisesti hyväksyttyihin metafysiisiin ja kosmologisiin periaatteisiin. (4) Kopernikuksen ja Galilein aikana tutkimuksen painopiste on menetelmissä ja tuloksen analyysissä. Kopernikus ja Galilei olivat toki toissijaisesti myös luonnonfilosofeja. (Lehti, *Tanssi auringon ympäri* 1989; myös Joutsivuo ja Mikkeli, *Renessanssin tiede* 2000). Myös ajan yleinen suhtautuminen tietoon muuttui radikaalisti. Paolo Rossi painottaa modernin ja keski-aikaisen luonnonfilosofisen tutkimuksen laatueroa. Keskiajan ehdoton metodinen täsmällisyys kahlsi tutkimusta, etenkin Galilei taas oli tutkimuksessaan metodologinen opportunisti. Paolo Rossi, *Modernin tieteen synty Euroopassa* 2010, s. 21. Keskiajan teologis-filosofinen painotus oli alkanut muuttua renessanssiaikana luonnonfilosofis-kokeelliseksi, jossa luonnonfilosofialla oli yhteiskunnallinen markkina-arvo (esim. Robert K. Merton tai Mario Biagoli), eikä luonnonfilosofia ollut pelkästään älyllinen akateeminen harjoite. Ann Blair, *Natural Philosophy*, teoksessa toim. Kathrine Park ja Lorraine Daston 2006, s. 365–406.

²⁴⁶ Rachel Laudan, *Instrumentalism and Realism*, (toim. J. Heilbron) 2003, s. 405.

²⁴⁷ William Vollman, *Uncentering The Earth*, 2006, erityisesti luku *Limits of Observation in 1543*, s. 101–108.

tieteen vallankumouksen suhde keskiaikaiseen luonnonfilosofiseen tutkimukseen.²⁴⁸ Newtonin fraasia lainataksemme: uuden tieteen nerot seisoivat keskiaikaisen perinteen olkapäillä. Nykyisin korostetaan hartioiden historiallista leveyttä: ne ulottuivat keskiajasta vielä paljon kauemmas idän korkeakulttuureihin ja keskiaikaiseen arabikulttuuriin.

Historian oppikirjoissa antiikin Kreikka saa usein katteettoman suuren sijan luonnontieteen perinteen synnyttäjänä.²⁴⁹ Duhem pystyi osoittamaan, että uuden tieteen oivalluksilla oli jo keskiajalla vastineensa. Hän ei kuitenkaan pystynyt yksiselitteisesti osoittamaan keskiaikaisia tutkijoita uuden tieteen aloittajiksi. Joka tapauksessa Duhem laajensi tieteen vallankumouksen tutkimusta keskiajalle ja pystyi muuttamaan valistuksen yksioikoista kuvaa keskiajan aatehistoriasta. Duhemin tutkimukset asettivat valistuksen ja positivismin yksipuoliset käsitykset katolisen kirkon vaikutuksesta luonnontieteeseen uuteen valoon: keskiajan yliopistoissa harrastettiin vapaata ja spekulatiivista tutkimusta. Monet tieteen vallankumouksen tekijät olivat jo keskiajalla selkeästi idullaan.²⁵⁰ Uskonto ei välttämättä ollut totuuden vihollinen vaan jopa luonnontieteen vallankumouksen ehto.

Duhem vaikutti voimakkaasti historioitsija Herbert Butterfieldin näkemyksiin tieteen vallankumouksesta, kun tämä kirjoitti ensimmäisen yleisen historian kuvauksen ilmiöstä ”tieteen vallankumous”.²⁵¹ Butterfield korosti kirjassaan *The Origins of Modern Science* (1949) uskonnon hedelmöittävää vaikutusta uuden tieteen syntyyn sekä historiallisuuden jatkuvuuden merkitystä, etsimällä tieteen vallankumouksen juuria keskiajalta.²⁵² Butterfield korosti teoksessaan uuden kokonaisvaltaisen ajattelutavan syntyä: aristoteelinen tapa käsitteellistää maailmaa hylättiin ja *päähän laitettiin uusi* ”tulkintamyssy” (thinking-cap).²⁵³ Vallankumous oli

²⁴⁸ Keskiajan luonnonfilosofian tutkija David Lindberg varoittaa uskomasta, että kiistaan löytyisi helppoa vastausta. Lindberg kirjoittaa: ”...uskon, että keskiaikaiset luonnonfilosofit tekivät tärkeää ja kestäväää valmistelevaa työtä länsimaisen tieteellisen tradition kannalta...mutta he eivät kehittäneet modernin luonnontieteen peruselementtejä...Lyhyesti hyväksyn tieteellisen vallankumouksen käsitteen.” Lindberg *The Beginnings of Western Science* 1992, s. 360.

²⁴⁹ Luonnontieteen historian edellä käsitellyissä tieteenhistorian yleisesityksissä ”hartioita”, joilla länsimainen tiede lepää, levennetään Intian ja Kiinan tieteen sekä lisäksi teknologian suuntaan. Tämä on keskeisenä sisältönä kiitetyssä McClellanin ja Dornin teoksessa *Science and Technology in World History* 1999. John Steele (*A Brief Introduction to Astronomy in the Middle East* 2008) korostaa Babylonian ja arabien merkitystä tähtitieteessä tieteen vallankumouksen taustana.

²⁵⁰ Oresmen lisäksi keskiajalla oli monia tutkijoita, jotka tutkivat tieteen vallankumouksen ydinalueita omaperäisesti, kuten voiman vaikutusta (John Buridan, *impetus*-käsite), liikkeen kuvaamista matemaattisesti (Thomas Bradwardine), optiikkaa ja kokeellisen tutkimuksen kehittämistä (Roger Bacon ja Robert Grosseteste). David Lindberg 1992, s. 281–315.

²⁵¹ Kathryn Oleskon mukaan uskontotieteilijä Edwin Burt ja historioitsija Herbert Butterfield olivat ne tutkijat, joiden välityksellä englanninkielisiin maihin levisi käsitys tieteen vallankumouksesta; Olesko, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 368.

²⁵² Herbert Butterfield, *The Origins of Modern Science* (1949, uusintapainos 1980), s. 2–16. Duhem korosti historian jatkuvuutta sekä katolisen kirkon merkitystä luonnontieteen synnyssä. Butterfield päätyi samanlaisen tulokseen omassa luonnontieteen historian kuvauksessaan. Regis Cabralin mukaan Butterfieldin historiakäsityksen takaa löytyy voimakas kristillinen eetos: ”Butterfields ‘Big Picture’ is clear, simple and powerful: The meaning of history is christianity”. Regis Cabral 1996, s. 567. Niinpä hän korostaa keskiajan yliopistojen merkitystä tieteen vallankumouksessa ja Butterfieldin luonnontieteen historia rajautuu vuosien 1300–1800 väliin. Duhem ja Butterfield korostavat katolisen kirkon ja uskon moniselitteistä merkitystä luonnontieteen synnylle. Heidän mielestään positivistinen historiantulkinta luonnontieteen kehityksestä on liian yksipuolinen. David Lindbergin (2003) mukaan luonnontieteen historian opetuksessa olisi annettava monivivahteinen kuva kirkon ja tieteen suhteesta, ja hän antaa tälle artikkelisaa opetustulkinnan. Teoksessa toim. Lindberg ja Numbers 2003.

²⁵³ Herbert Butterfield, *The Origins of Modern Science* (alunperin 1949) 1980, s. 1.

saanut dramaattisen maailmankuvavaihdos-tulkinnan. Aristoteelinen maailmankuva ei ollut väärä, vaan erilainen tapa tulkita maailmaa. Kun uuden maailmankuvan myötä saavutettiin luonnontieteen tehokkuus, vanhan myötä menetettiin tulkinnan merkityksellisyys ja sen tuoma turvallisuus.

Luonnontieteen historian tutkimus ammatillistui ja ”edistyi” merkittävästi 1920-luvulta lähtien. Vieläkin luonnontieteen historian tutkimuksen mielenkiinnon kohteena oli erityisesti tieteen vallankumous. Uusien teorioiden historiallinen ympäristö kartoitettiin nyt kuitenkin entistä tarkemmin ja tiedemiesten ajattelussa tapahtuneet suuret murrokset nostettiin esiin. Teoriat käsiteltiin kokonaisuuksiksi, maailmankuviksi, eräänlaisiksi verkoiksi, joiden solmu-kohtia käsitteet olivat. Duhem oli oivaltanut, että näiden maailmankuvien kautta tarkasteltiin luonnontieteellisiä ongelmia, tehtiin havaintoja ja kehitettiin hypoteeseja. Uusi luonnontieteen historian tutkimus pyrki kartoittamaan näitä tieteellisten maailmankuvien käsiteverkkojen rakenteita ja niissä tapahtuneita muutoksia. Samalla tunkeuduttiin yhä tarkemmin entisajan tutkijoiden ajatteluun ja heidän tapaansa hahmottaa todellisuutta. Tutkimus käytti lähteitä laajasti, eikä enää keskitytty vain yhden ”neron” käsikirjoituksiin. Kun aikakauden tiedemiesten ajattelutapoja hahmotettiin laajasti, vahvistui käsitys, että tiede oli ymmärrettävä myös sosiaalisesti toiminnaksi. Saman aikakauden tiedemiehet jakoivat yhteiset käsitykset tiedosta eli heillä oli yhteinen maailmankuva. Luonnontieteen historian perustutkimus vaati niin laajaa aikakauden yleistä tuntemusta, kielitaitoa ja tutkimusteknistä osaamista, että luonnontieteen historian luonnontieteilijätutkijoiden aika oli ohi. Positiivisesti suuntautunut luonnontieteen opetus ei tällaista tutkimusta tarvinnut, ja niinpä luonnontieteen historia alkoi jäädä syrjään luonnontieteen opetuksesta. Historian oppikirjoissa ei koskaan ole päästy opettamaan varsinaista luonnontieteen historiaa vaan on tyydytty luonnontieteen tai tieteenfilosofian omiin tarkoituksiin muokattuun historiaan.²⁵⁴

Tarkka historiallinen tutkimus paljasti, että modernin tieteen perustajaisät eivät olleetkaan moderneja tiedemiehiä vaan heidän ajattelunsa ankkuroitui voimakkaasti ajan yleiseen älylliseen maailmankuvaan. Tutkimuksista kävi ilmi, että tieteen suuri esikuva Isaac Newtonkaan ei ollut tiedemies vaan luonnonfilosofi, vieläpä maagi.²⁵⁵

²⁵⁴ Harold Sharlin, Stephen Brush, Harold Burstyn, Sandra Herbert, Michael Mahoney ja North Sivin (1975) kuvaavat luonnontieteen historian kehitystä tieteenalana verraten sitä luonnontieteen historian kouluopetukseen. Artikkelissa todetaan kuilu, joka on syntynyt luonnontieteen historian oppialan ja sen opetuksen välille. Kaikki artikkelin mainitsemat luonnontieteen historian arkaaiset piirteet ovat edelleen nähtävissä opetuksen ja oppikirjojen puutteina: induktivismi, metodiudisko, tieteen ja tekniikan ero, internalismi–eksternalismi-ero ja katteeton suurmiespalvonta. Sharlin, Brush, Burstyn, Herbert, Mahoney ja Sivin, *Teaching the History of Science and Technology*, Annals of Science 1975; Brush, *Should History of Science be Rated X*, Science 1975, ja Matthews, *Science teaching* 1994. Nykyisten luonnontieteen oppikirjojen analyysi artikkelissa Dietmar Höttecke ja Cibelle Celestino Silva, *Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles*, Science & Education 2011.

²⁵⁵ Isaac Newtonin ensimmäisen kattavan elämäkerran kirjoittaja David Brewster tiesi jo 1800-luvun puolivälissä Newtonin esoteerisista tutkimuksista, mutta valistushiehenä päätti vaieta niistä. Laajaan tutkimukseen Newtonin alkemialliset tutkimukset tulivat vasta 1960-luvulta lähtien, jolloin Newton-tutkimus kokonaisuudessaan laajeni. I.B. Cohen kuvaa artikkelissaan (Isis 1960) Isaac Newtonia koskevia tutkimusprojekteja, jotka olivat juuri syntyneet uuden, laajuudeltaan valtavan arkistomateriaalin tutkimuksista: Cohen (oppi-isänsä Koyrén kanssa) itse aloitti *Principian* käsikirjoitusten tutkimisen, A.R. Hall ja Marie Boas Hall tutkivat Newtonin mekaniikkaa ja optiikkaa (myös alustavasti alkemiaa), Frank Manuel ja Richard Westfall taas tutkivat Newtonin uskonnollisia käsikirjoituksia ja D. T. Whiteside hänen matemaattisia kirjoituksiaan. Alkemiasta ei kunnan projekti vielä ollut alkanut (Dobbs teki 1970-luvulta lähtien uraauurtavia Newtonin alkemiaa käsitteleviä tutkimuksia). I. B. Cohen, *Newton in the Light of New Scholarship*, Isis 1960, s. 489–514.

Luonnontieteen historia itsenäistyi omaksi tieteenalakseen Pariisissa 1900-luvun alussa. Alaila vaikutti joukko tieteenhistorian tutkijoita, jotka kaikki edustivat alansa huippua: Marcelin Berthelot, Paul Tannery, Helen Metzger ja Alexandre Koyré.²⁵⁶ Samaan aikaan Belgiassa vaikutti George Sarton²⁵⁷, joka perusti ensimmäisen luonnontieteen historian julkaisun *Isis sen*.²⁵⁸

1900-luvun alkupuoliskon tieteenhistorioitsijat keskittyivät 1600-luvun luonnontieteen suuren vallankumouksen kuvaukseen. Nämä tutkijat antoivat kokovartalokuvan historiallisesta prosessista, jota yleisesti kutsutaan nimellä tieteen vallankumous. Saksalainen Anna-Liese Maier (1905–1971) otti Duhem-teesit tarkkaan historialliseen analyysiin. Hän oli saanut käsiinsä uutta lähdeaineistoa Vatikaanin kirjastosta. Maierin tutkimuskohteena olivat dynamiikan (voimaoppi) keskiaikaiset voimakäsitteen tulkinnat. Hän ei tutkinut käsitteitä tieteen vallankumouksen näkökulmasta, vaan keskiajan luonnonfilosofian käyttökontekstin kautta. Maierin analyysin tulos oli, että 1300-luvun tutkijat eivät tehneet mekaniikan vallankumousta. He eivät käyttäneet käsitteitä klassisen mekaniikan tapaan. Myöhäisskolastiikan aristoteelikot olivat kuitenkin merkittäviä uudistajia, koska he olivat ensimmäinen luonnonfilosofipolvi, joka irtautui Aristoteleen järjestelmästä. Tässä mielessä näillä tutkimuksilla oli merkitystä 1600-luvulla tapahtuneelle tieteen vallankumoukselle.²⁵⁹ Maier selvitti näin tieteen vallankumouksen yhteyksiä keskiaikaan. Tämä tutkimusjuonne on saanut paljon seuraajia, ja erityisesti Galileo Galilein suhde keskiaikaisiin edeltäjiinsä askarruttaa historian tutkijoita.²⁶⁰

Yhdysvaltalainen aatehistorioitsija ja teologi Edwin A. Burt (1892–1989) kirjoitti ensimmäisen kokonaisen tieteen vallankumouksen kuvauksen vuonna 1932 julkaistussa teoksessa *The Metaphysical Foundation of Modern Physics*. Burt ei tutkinut fysiikan syntyä 1600-luvulla, vaan luonnonfilosofiaa 1600-luvulla. Juuri tämä näkökulma erottaa kontekstualistisen tutkijan final form -tutkijasta (tai whig-tutkijasta). Galilei ja Newton eivät olleet fyysikkoja tai tiedemiehiä vaan luonnonfilosofeja muiden aikalaisluonnonfilosofien tapaan.²⁶¹ Tämä lähtökohta johti erilaiseen tieteen vallankumouksen kuvaukseen, kuin Whewell, Comte tai Mach olivat päätyneet. Burt kartoitti luonnontieteen vallankumousta historiallisesti eikä antanut luonnontieteen historian suurmiehille erikoisasemaa, ei edes Newtonille. Hän ei kohdellut Isaac Newtonin uuden tieteen maamerkkejä, *Principiaa* 1687 ja *Opticsia* 1704, pyhinä teksteinä vaan satoi Principiassa käytetyt käsitteet aikakauden yleiseen luonnonfilosofiaan. Burtin mukaan

²⁵⁶ Michael Friedman (Isis 2008, s. 126) lisää klassisiin internalistisiin HPS-vaikuttajiin vielä Ernst Cassirerin, Emile Meyersonin ja Léon Brunschwigin.

²⁵⁷ George Sartonin positivistista historiakäsitystä kuvaa hänen tiivistyksensä luonnontieteen historian ominaispiirteistä vuodelta 1936: Määritelmä: Luonnontiede on systemaattinen ja positiivinen tietämisen tapa eri aikoina ja eri paikoissa. Teoreema: Positiivisen tiedon systematisointi ja sen kehittäminen ovat ainoat inhimilliset toiminnot, jotka ovat aidosti kumulatiivisia ja kehittyviä. Korollari: Luonnontieteen historia on ainoa historian osa-alue, joka voi kuvata ihmiskunnan edistymisestä. Kehityksellä ei ole tarkkaa määritelmää missään muussa historian kentässä kuin tieteessä. Gerald Holton 1986, s. 226.

²⁵⁸ George Sarton (1884–1956) perusti Isis-lehden 1913. Lehti oli aluksi comtelaisen positivistisen historianfilosofian kannattaja. Ensimmäisen maailmansodan jälkeen lehti siirtyi ilmestyväksi Yhdysvaltoihin. Alan Thackrey, *History of Science*, teoksessa toim. Durbin 1984, s. 12.

²⁵⁹ H. Floris Cohen, *The Scientific Revolution* 1994, s. 57. Kontinueettikiistasta Lindberg 1992, s. 355–360.

²⁶⁰ A. George Molland, *Aristotelian Science*, (toim. Olby, Cantor, Christie ja Hodge 1990), s. 565. Uuden tieteen ja aristoteelisen järjestelmän monivaihteisesta suhteesta Daniel Garber, *Physics and Foundations* 2006, s. 21–69.

²⁶¹ John Harrisin hakuteoksessa *Lexicon technicum* (1708–1710) käytetään vielä termiä luonnonfilosofia, sillä ei kuitenkaan Ann Blairin mukaan enää viitata teologiaan ja aristoteleen perinteeseen. Luonnonfilosofiasta oli tullut sisällöllisesti fysiikkaa. Ann Blair, teoksessa toim. Numbers ja Lindberg 2006, s. 406.

uuden tieteen synnyssä oli kysymys syvällisestä aatteellisesta murroksesta, jolle hän antoi nimen aatteellinen vallankumous (”intellectual revolution”).²⁶² Aatteellinen vallankumous edellytti vanhojen luonnonfilosofisten käsitteiden uudelleen tulkintaa, kuten:

- ajan ja avaruuden geometrisointia (kielletty kuunalisessa eli sublunaarisessa maailmassa Aristoteleen mukaan),
- eroa primääri- ja sekundääriominaisuuksien välillä, uuden tieteen tutkittavaksi tulivat primääriominaisuudet, jotka olivat mitattavia (Aristoteleen substanssikäsitys oli aivan erilainen),
- korpuskulaarifilosofian syntyä (ilmiöt selitetään erilaatuisten partikkeleiden liikkeenä, esim. Descartes), kosmologiassa sovellutuksena oli pyörreteoria: planeetat ikään kuin kelluivat avaruuden pyörrevirtojen mukana,
- uutta kausaalikäsitystä, irrottautumista Aristoteleen kausaalisuudesta (neljän kausaalisuuden käsitys) ja siirtymistä karteesiolaiseen lähikosketuskausaalisuuteen.²⁶³

Burtin mukaan uuden käsitejärjestelmän kehittäjinä olivat uusplatonilaista koulukuntaa edustavat luonnonfilosofit Kepler ja Galilei (joita Englannissa edustivat Isaac Barrow ja Henry More, Isaac Newtonin esikuvat). Mach oli tehnyt Galileista uuden tieteen isän, Burtin kuvaama Galilei kutistui maltillisiin mittasuhteisiin ja Isaac Newtonin rooli taas perustellusti kasvoi, koska Isaac Newton rakensi uuden mekaniikan synteessin *Principiassa* (1687).

Kontekstuaalisuus merkitsi, että tieteen vallankumous kytkettiin kiinteästi oman aikansa aatehistorialliseen perustaan. Whewellin aikanaan esittämä käsitys metafysiikan merkityksestä alkoi saada historiallisesti tarkan sisällön. Tieteen vallankumouksen suurmiehet olivat luonnonfilosofeja ja mystikkoja: platonisteja, kabbalisteja, heretistejä, alkemisteja, korpuskularisteja, tria prima -opin kannattajia jne. Yhtään objektiivista, induktioon, pelkästään eksperimentalmismiin tai matemaattisiin formulointeihin tukeutuvaa positivistia ei tieteen vallankumouksen ajan tutkijoista löydy.

Burt julkaisi kirjansa Yhdysvalloissa jo 1924 ja teos jäi monelta huomaamatta. Samaten Hollannissa vaikuttanut tieteenhistorian kontekstuaalisen tulkinnan kehittäjä Eduard Jan Dijksterhuis (1892–1965) vaikutti aluksi paljolti tieteenhistorian tutkimuksen marginaalissa. Vasta kun hänen esikoiskirjansa *Val en warpin* laajennettu englanninkielinen versio *The Mechanization of the Worldpicture* (1959) julkaistiin, hänen tutkimustuloksensa alkoivat levitä laajemmalle. Kirjassaan Dijksterhuis tutki liikekäsitteen kehitystä aristoteelisesta järjestelmästä Isaac Newtonin klassisen mekaniikan formulointiin. Dijksterhuisin mukaan uuden tieteen menestys ei suinkaan johtunut ”induktiosta”, vaikka 1600-luvun tieteenfilosofisessa retoriikassa niin väitettiin. Luonnontieteen kehitys noudatti pikemminkin hypoteettis-deduktiivista kaavaa. Mitattavissa olevien ”kvantitatiivisten entiteettien” matemaattisesti

²⁶² Burt oli keskiajan tutkija ja teologi. Hänen tutkimusasetelmansa oli samanlainen kuin Butterfieldin ja Duhemin tapauksessa: Burtin tutkimuksen kärki oli suunnattu positivistista tieteenfilosofiaa vastaan. Dastonin mukaan Burtin kirjasta henkii surumielinen menetyksen tunne, kun turvallinen, rajallinen, käsitettävä ja merkityksellinen keskiajan älyllinen maailmankuva oli hylätty ja ihminen oli heitetty uuden tieteen kylmään, mekanistiseen, merkityksettömään ja äärettömään maailmaan. Lorraine Daston, *A Second Look, History of Science in Elegiac Mode*, E.A. Burt's *Metaphysical Foundations of Modern Physical Science Revisited*, Isis 1991.

²⁶³ Yhteenveto Burtin kirjan *The Metaphysical Foundations of Modern Science* (alkuteos 1932) 2003, sivuista 303–325. Karteesiolaisten suhtautuminen Principiaan valottuu helposti tämän kiistan kautta: gravitaatio oli erittäin vaikea käsite uudelle kausaalikäsitteelle. Teemasta esim. I. B. Cohen, *Newtonian Revolution* 1980, Richard Westfall, *Never at Rest* 1984, ja Jessica Riskin, *Newtonianism*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 575. Samalla voidaan viitata Isaac Newtonin syvään voluntaristiseen vakaumukseen: Jumala takasi järjestelmän toimivuuden ja jopa korjasi luomaansa järjestelmää aktiivisesti.

ilmaistut funktionaaliset suhteet olivat Dijksterhuisin mielestä oikean tieteen tunnusmerkki.²⁶⁴ Keskiaikana mekaniikka oli tosiasiaa juuttunut aristoteelisen käsitteistön pakkopaitaan. Vasta Arkhimedeeseen matemaattisen perinnön vaikutus vapautti tutkijat tästä, ja siksi matemaattinen liikeoppi syntyikin vasta Galilein tutkimuksissa, joissa Dijksterhuis näkee erityisesti Arkhimedeeseen hedelmöittävän vaikutuksen. Vaikka matematisointi on Dijksterhuisin mukaan luonnontieteen olemus ja 1600-luvun luomus, Dijksterhuis ei puhu vallankumouksesta vaan korostaa historioitsijana jatkuvuuden merkitystä tieteellisessä traditiossa.²⁶⁵

4.1.4 KOYRÉ JA LUONNONTIETEEN HISTORIA AATEHISTORIANA

Luonnontieteen historian kirjallisuudessa Alexandre Koyrésta on muodostunut käsite: puhutaan yleisesti koyrélaisesta luonnontieteen historian tulkinnasta, mikä tarkoittaa tieteenhistorian *aatehistoriallista*, internalistista tulkintaa. Hänen tutkimustensa pohjalla on nähtävissä tieteenhistorian voimakas idealistinen virtaus.²⁶⁶ Koyrélle luonnontieteen historia oli ”puhtaan ajattelun” kehitystä. Koyré kohotti luonnontieteen historian teknisen lähdetutkimuksen korkealle tasolle, koska hän hallitsi niin klassiset kuin nykykielek ja käytti laajaa kirjallista lähderpertuaaria. Tutkimuskohteina Koyrélla olivat luonnontieteen historian suuret uudistajat, kuten Kepler, Galilei, Descartes ja Newton.

Koyré muotoili oman tulkintansa vallankumouksikäsitteestä 1940 julkaistussa esseekokoelmassa *Études galiléennes*. Koyréta voidaan pitää Burtin ohella tieteenhistorian kontekstualistisen²⁶⁷ koulukunnan perustajana. Hänen mukaansa tieteen vallankumouksen tausta oli paljastettava koko käsitteellisessä rikkaudessaan. Tämä merkitsi tarkkaa 1600-luvun aatehistoriallista rekonstruktiota. Tieteen vallankumousta Koyré kutsuu ”syvällisimmäksi älylliseksi mutaatioksi ihmiskunnan historiassa” (intellectual mutation).²⁶⁸ Silloin tieteellinen tulkinta luonnosta muuttui täydellisesti: orgaanisesta, äärellisestä, laadullisesta, hierarkkisesta ja teleologisesta maailmanselityksestä siirryttiin homogeeniseen, äärettömään ja matematisoituu maailmankäsitykseen. Koyré’n kirjan nimi *From Closed World to Infinite Universe* (1957) kuvaa hyvin syvällistä ja dramaattista maailmankuvamuutosta. Koyré’n draaman taju, analyttisyys

²⁶⁴ I. Floris Cohen, *The Scientific Revolution* 1994, s. 62.

²⁶⁵ E. J. Dijksterhuis selvittää kompaktisti klassisen mekaniikan yhteyttä Aristoteleen voimakäsitteeseen sekä myös Arkhimedeeseen ja Eukleideen matemaattiseen voiman abstrahointiin artikkelissa *The Origins of The Classical mechanics From Aristotle to Newton, Critical Problems in the History of Science*, teoksessa toim. M. Clagett 1962.

²⁶⁶ Arnold Thackrey 1984, s. 16–18. Thackreyn mukaan Koyré’n vaikutus Yhdysvalloissa näkyi luonnontieteen historian ”idealistisen ohjelman” suosiona. Koyré’n idealismin hän kiteyttää lauseeseen: ”Luonnontiede on olemukseltaan teoriaa ja totuuden etsintää.” Thackrey 1984, s. 16.

²⁶⁷ Peter Galison (Isis, 2008/1) jakaa kontekstuaalisuuden tieteenhistoriassa kahteen kategoriaan. Ensimmäinen kategoria on käsitefilosofiaan painottuva kontekstuaalisuus, joka käyttää hyväkseen luonnontieteessä tuotettuja tekstejä, siten että esim. Descartesin tekstejä verrataan saman ajan ja saman alan muihin filosofisiin teksteihin. Laajempi kontekstuaalisuus taas pyrkii kartoittamaan ajan poliittiset, institutionaaliset, taloudelliset tai ideologiset asiayhteydet. Käsitefilosofinen konteksti vastaa perinteistä internalistista luonnontieteen historiaa ja laajempi taas eksternalistista. Kumpikin suuntaus on saanut opetukselliset sovellutukset: HPS:n ja STS:n. Galison 2008, s. 112–113. Tässä kohdassa tarkoitetaan Galisonin kapeampaa tulkintaa artikkelissa Isis 2008/1, s. 113. Koyré’n asemaa kontekstualismin tutkijaesikuvana kuvataan artikkelissa I. B. Cohen ja Marshall Clagett, *Commemoration*, Isis 1964, s. 157–166.

²⁶⁸ Koyré, *Metaphysic and Measurement* 1943, s. 20–21.

ja tarkka lähdetutkimus kiehtoivat uutta luonnontieteen historioitsijasukupolvea.²⁶⁹ HPS-opetuskokeiluissa käytetään tällaisia käsitefilosofian harjoitteita, joissa on materiaalina historiallisten käsitejärjestelmien muutoksia.

Henkilöt, jotka Koyrén mukaan muuttivat vallankumouksellisesti liike- ja avaruuskäsitystämme olivat Galilei (avaruuden geometrisointi, inertia-käsite²⁷⁰ ja kiihtyvän liikkeen kuvaus) ja Rene Descartes. Koyrén ”älyllinen mutaatio”, vallankumous, johtaa pitkällä aikavälillä siihen, että vanhat ilmiöt oli nähtävä täysin uudessa valossa. Todellisuuden rakenne ei paljastu sellaisenaan (induktio) vaan ilmiöt nähdään jonkin teorian kautta eikä puhtaita havaintoja ole olemassa. Juuri tätä Koyré tarkoittaa, kun hän kuvaa Galilein mullistavaa metodologiaa: ”...kun tehdään *hyvin muotoiltu kysymys* (koeasetelma), luonto paljastaa todellisen, *geometrisen* luonteensa...se voidaan tehdä ainoastaan *järjen* avulla. Galilein esitiedot ilmiöstä olivat niin laajat, että on sama, tehdäänkö koe todellisuudessa vai ei.”²⁷¹ (kursiivit LH) ”Luonnontieteellinen ajattelu on kuin käsitteiden verkko, johon havainnot pyydytetään ja kääritään. Verkko muodostuu ajalle luonteenomaisista käsitteistä ja metafysisistä periaatteista. Näitä metafysisiä periaatteita ei ole suoraan missään käsikirjoituksessa lueteltu, mutta ne kuitenkin vaikuttavat tutkimukseen hiljaisena tietona (tacit knowledge²⁷²). Koska verkko on totaliteetti, sitä ei yksi eriyvä havainto voi järkyttää.”²⁷³

Verkkomainen maailmankuva saattaa asteittain muuttua, kuten suuressa tieteellisessä vallankumouksessa tapahtui. Ymmärtääksemme toisen aikakauden rationaalisuutta, meidän on tunnettava sen ajattelun verkkoa laajemmin: ”Juuri tämä on historiallista relativismia – kyky nähdä vanhat tieteelliset teoriat rationaalisina omassa historiallisessa kontekstissaan.”²⁷⁴ Aristoteellinen liikekäsitys voidaan ymmärtää vain Aristoteleen järjestelmän sisältä yhteydessä

²⁶⁹ C.C. Gillispie kuvaa Koyrén merkitystä historioitsijasukupolven esikuvana ”... luonnontieteen historia ei enää ollut jonkun tieteenfilosofian, kuten positivismin, keppihevonen tai marxilaiselle käsitykselle alistainen...nyt luonnontieteen historia oli huolellista tutkimusta, analyttistä ja vieläpä kiihottavaa ideoiden kamppailun historiaa.” Charles Gillispie, Koyré, Alexandre, teoksessa (toim.) C. Gillispie, Dictionary of Scientific Biographies 1980, vol. 7, s. 486.

²⁷⁰ Oikea inertian lain määritelmä, joka on avain uuden mekaniikan syntyyn, löytyy Descartesilta. Koyrén analyysin mukaan Newton otti sen Descartesilta synteesiinsä, vaikka ei suostunut viittaamaan Descartesiin. Koyré, Galilei Studies 1978, s. 109.

²⁷¹ Koyré 1978, s. 108. J. Heilbron kirjassaan Galileo (2010) avaa varhaisiin kokeisiin liittyviä myyttisiä tarinoita. Hänen mukaansa Galilei oli kokeellisen luonnontieteen uranuurtaja, mutta esimerkiksi Pisan tornin pudotuskokeita hän tuskin teki, koska oli yliopiston ”toogapakon” alainen, eikä ole todennäköistä, että hän olisi tämä hankala vaatekappale päällään voinut tehdä pudotuskokeita yliopiston henkilökunnan todistaessa tapahtumaa. Toogapakkoo Galilei arvosteli kirpeäsanaisesti. Heilbron 2010, s. 60–61.

²⁷² Vaikka ”hiljainen tieto” ideana löytyy Koyréltä, varsinaisesti tacit knowledge -käsitteen määritteli tieteenfilosofi Michael Polányi. Polányin suosikkiesimerkki hiljaisesta tiedosta oli ihmisen kasvojen tunnistaminen: se tapahtuu, ilman että pystytään määrittelemään, mihin yksityiskohtaan tunnistus perustuu. Toinen Polányin esimerkki on käsite ”pianistin kosketus”. Tällainen henkilökohtainen ”kosketus” on luonteenomaista myös luonnontieteelle. Henkilökohtainen ei tee tiedosta subjektiivista. ”Aidossa” tietämisessä on aina määrittelemätön henkilökohtainen komponentti, mutta myös objektiivinen, yleinen komponentti. Michael Polányi, Personal Knowledge 1958, s. vii–viii. Tieteensosiologia on ottanut käsitteen käyttöön tiedeyhteisön yhteisenä, määrittelemättömänä toimintatapana. Erityisesti Kuhn, Ravetz, Collins ja MacKenzie korostavat käytännön (määrittelemättömän ja jaetun) merkitystä tutkimuksessa. Tämä komponentti on avannut tieteensosiologialle paljon tutkimuskohteita. Giuliano Pancaldi, Tacit Knowledge, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 789.

²⁷³ James Stump, History of Science through Koyré's Lenses, Studies in History and Philosophy of Science 2001, s. 251.

²⁷⁴ Ibidem, s. 253.

laajempaan ”muutoksen” käsitteeseen ja Ptolemaioksen maakeskeisyys Almagestin kokonaisjärjestelmän sisältä.

Kontekstuaalisuus johtaa helposti relativismiin ja käsitykseen käsitejärjestelmien yhteismitattomuudesta. Relativismi oli kuitenkin Koyrélle vieras ajatus, sillä hän usko i luonnontieteen lähestyvän historiallisena prosessina *totuutta*. Luonnontieteen teoriassa ei ole hänen mukaansa mitään sopimuksenvaraista. Luonnontieteen päämäärä on totuuden selvittäminen, ja todellisuuden rakenne oli osoittautunut luonnontieteen tutkimuksen perusteella matemaattiseksi. Koyrén mukaan Galilein ajattelu ei ole puhtaasti matemaattista vaan fysikaalis-matemaattista (physico-mathematical): ”...todellisuus on matematiikan uudelleensyntymä...ei ole kuilua havainnon ja teorian välillä...tiedemies ei pyri pelastamaan ilmiöitä, vaan ilmaisemaan ilmiöiden todellisen luonteen...”²⁷⁵ Kun aristoteelinen tiede Koyréen mukaan tyytyi ”osapuilleen” selityksiin, verbaalisiin kuvauksiin, uusi tiede pyrki matemaattisen täsmälliseen kuvaukseen.

Tärkeänä aatteellisena juonteena uuden tieteen synnyssä Koyré pitää platonilaisuuden elpymistä. Tieteen vallankumous oli ytimeltään platonilainen, koska vallankumous tapahtui ideaeli käsitteellisellä tasolla.²⁷⁶ Galilein kokeilla oli Koyréen mielestä vain vahvistava eli konfirmoiva merkitys. Koyréen mukaan Galilei suoritti kuuluisat kokeensa lähinnä vain ajatuskokeina. Hän näki intuitiivisesti putoamisliikkeen tietynä matemaattisena suhteena. 1500-luvun lopun mittalaitteilla lain johtaminen puhtaasti havainnoista olisikin ollut käytännössä mahdollista.²⁷⁷

Luonnontieteen historiassa, Koyréen käsityksen mukaan, ei ollut sijaa sosiaalisille tulkinnoille. Tiedemiesten välillä oli tiukka hierarkia: tieteen perustyöläiset sekä erillinen *nerokategoria*. Koyréen mukaan luonnontieteen historian merkittävimmän teoksen, Principian (1687) synnytti: ”Newtonin näkemys ja eksperimentaalinen nerous – ei ammattitaito. Muut ajan tutkijat, esimerkiksi Isaac Newtonin kiistakumppanit, kuten Robert Hooke, olivat vain ammattitaitoisia...”²⁷⁸. Koyré vastusti jyrkästi tieteenfilosofiassa vallalla ollutta positivistista suuntausta.

²⁷⁵ Koyré, Galilei Studies 1978, s. 108.

²⁷⁶ Koyréen mukaan tieteen vallankumous oli platonilaisuuden voitto aristoteelisuudesta. Koskaan ei kuitenkaan ollut maksettu Koyréen mielestä niin suurta hintaa voitosta kuin nyt, sillä avaruus ja luvut (esim. pythagoralaisuus) menettivät kosmisen merkityksensä. Koyré 1978, s. 209.

²⁷⁷ Koyré 1978, s. 108. George Johnson (2008) kertoo Stillman Draken ja Thomas Settleen historiallisesta Galilei-koesimulaatioista. Heidän historiallisesti tarkkojen kokeidensa mukaan kaltevaa tasoa voi käyttää vain konfirmoivana kokeena, koska 1600-luvulla käytetty vesikello on mittalaitteena epätarkka. Drake on kuitenkin varma, että Galilei musikaalisena henkilönä käsitti melodiaan liittyvän tahtijaon, jota käyttäen pääsee mittauksessa tarkempiin tuloksiin. Miksi Galilei kirjoitti vain kokeissa käyttämästään vesikellosta? Draken mukaan hän ei kehdannut kirjoittaa, että hyräili melodiaa ja teki liidulla merkkejä. George Johnson, The Ten Most Beautiful Experiments, 2008. James MacLachlan taas (Experiencing in History of Science, Isis 1998) vakuuttaa omalla kokeellaan (vesi- ja viinikoe), että Koyré oli väärässä ja että Galilei teki todellisuudessa kokeet, joita kuvaili. Joskus Galilein koeraportti oli tyylillisistä syistä epätarkka.

²⁷⁸ Newtonin merkitys uuden maailmankuvan synteetikkona tulee esille Koyréen myöhäisessä tuotannossa, erityisesti postuumisti julkaistussa kirjassa Newtonian studies 1965. Newtonin ajattelusta löydetty uskonnolliset piirteet sopivat hyvin Koyréen tieteenhistorialliseen käsitykseen. Stephen J. Wykstran Osirisin (2000) mukaan Alexandre Koyré älyllisti modernin tieteen. Tärkeänä osana, tässä projektissa oli nerojen metafyyssisen ja siis myös uskonnollisen ajattelun syvyys, s. 31. Koyré: ”Newton eroaa ajattelun syvyydessä muista aikalaistutkijoista. Syvyys merkitsee syvällistä metafyyssistä ajattelua. Hänen absoluuttisen ajan ja avaruuden käsitteensä, sekä kolme liikelakiaa perustui kaikkitietävän ja kaikkivoivan Jumalan aktiivisen toiminnan vakaumukseen. Tämä vakaumus teki mahdolliseksi ylittää Boylen pinnallinen empirismi ja Descartesin kapea rationalismi.” Koyré 1978, s. 114. Koyréen käsitys oli vallalla 1960-luvulle asti internalistien piirissä. Tämän älyllistämiprojektin seurauksena tieteenharjoitus on ylevämpi ammatti, kuin muut ammatit. Tällainen koyrélainen idealismi ärsytti 1960-luvun nuorta radikaalia tutkijapolvea, ja idealismin kritiikiksi syntyi tieteen sosiologia ja tieteenfilosofian naturalismi.

Koyré ei voinut hyväksyä positivistien rationaalista rekonstruktiota. Hän näki nerojen ajattelun totaliteettina, josta ei voida tieteenfilosofisista syistä leikata tieteen ulkopuolista esoteerista (irrationaalista) ainesta. Koyréen mielestä Newtonin metafyyminen usko kaikkivoipaan jumaluuteen antoi mahdollisuuden empiirismatemaattisen tieteen syntyyn. Inhimillisen ajattelun eli länsimaisen tieteen kehitys kohti totuutta ei voinut olla suoraviivaista.²⁷⁹

Koyré nostaa esiin kaikki elementit, jotka katsotaan HPS-opetuksessa keskeisiksi. Koyrélaisessa tulkinnassa on myös syy, miksi länsimainen tiede on asetettava koulutuksessa erityisasemaan. Samalla hänen tulkinnassaan ovat kaikki ne puutteet, jotka ovat kritiikin muodossa löydettävissä tieteenhistoriologiasta. Yhteenvedon Koyréen luonnontieteen historialliset lähtökohdat olivat seuraavat:

- *Länsimaisen tieteen* synty on asetettava historiallisena prosessina erityisasemaan. Luonnontiede lähestyy historiallisena prosessina kohti *totuutta*.
- Länsimaisen tieteen uudistajat, uusien teorioiden kehittäjät, ansaitsevat luonnontieteen historiassa erityisaseman. Nämä uudistajat ovat esimerkkejä luonnontieteen vaatimasta luovasta panoksesta. Uudistajien syvälliset *metafyylliset käsitykset* mahdollistivat suuret oivallukset. Luonnontiede ei ole rutiinimaista metodin soveltamista.²⁸⁰
- Teoriat ovat *maailmankuvia*, joiden kautta ilmiöitä tarkastellaan.
- Koyréltä periytyy voimakas idealistinen vakaumus. Luonnontieteen historian keskeinen sisältö on *”puhtaan ajattelun”* kehitystä. Länsimainen tiede on kehittänyt yhä tehokkaampia tapoja kuvata ilmiöitä. Näiden teorioiden historiallisen synnyn tarkastelu tekee abstraktista luonnontieteestä ymmärrettävän.
- Luonnontieteen historia on ennen kaikkea *teorioiden ja käsitteiden* kehityksen historiaa.
- *Realismin* painottaminen. Luonnontieteen historia kertoo, kuinka luonnontiede kehittyi teorioineen ja lakeineen kohti yhä tarkempaa kuvaa todellisuudesta.
- Luonnontieteen historiaa tulee tutkia ja opiskella, koska siinä on nähtävissä selkeää edistystä. Moderni eli länsimaiden tiede on totuuden löytämistä, ja siksi sitä tulee erityisesti arvostaa.

Kaiken tämän vuoksi Koyré on HPS-opetuksen keskeisin esikuva ja tieteen sosiologien tärkeimmän kritiikin kohde.

Koyré tutki luonnontieteen suurta vallankumousta 1500–1700.²⁸¹ Vuonna 1957 pidetty luonnontieteen historian kongressi osoitti, että tieteen vallankumous luonnontieteen historian

²⁷⁹ “Itinerarium mentis in veritatem is not right line...” Koyré, *Newtonian studies* 1965, s. 114. Nick Jardinen (2000b) mukaan Johannes Kepler oli toinen Koyréen suuri uuden tieteen sankari, koska myös Keplerillä oli syvä teologinen ja metafyyminen platonilainen vakaumus ja tätä platonilaista intuitiotaan hän käytti tutkimustensa johtotähtenä, hänen tiedemiesluonnolleen oli tuskallisesti joutua siitä luopumaan. Kepleriä käytetään usein esimerkkinä tieteen ja uskon erosta: objektiivinen todellisuus pakottaa luopumaan rakkaista metafyyllisistä periaatteista. Tällaista tapahtuu luonnontieteessä, mutta ei uskonnossa.

²⁸⁰ Koyrélainen tulkinta löytyy edelleen esim. kirjan *The Cambridge Companion to Newton* (toim. I. B. Cohen ja George E. Smith 2002) esipuheesta, s. 17. Toimittajat pitävät 1600-lukua nerojen vuosisatana ja suurimpana nerona Newtonia (tällaista kuvausta Heilbron 2008 juuri paheksui), jonka rinnalle luonnontieteen historiassa voidaan asettaa vain James Clerk Maxwell ja Albert Einstein. Newtonin nerous kattoi myös matematiikan, jossa hänen neroutensa rinnastuu Friedrich Gaussiin.

²⁸¹ Roy Porterin mukaan internalistinen tutkimussuunta sai lähtökohtansa Koyrésta, ja liike synnytti joukon teknisesti taitavia tutkijoita. Porter nimeää A. R. Hallin, I. B. Cohenin, M. Clagettin, R. S. Westfallin ja C. C. Cromptonin. Kaikkia näitä tutkijoita leimasi koyrélainen idealismi ja tieteen sosiaalisen puolen laiminlyönti. Porter, *The history of science and the history of society*, teoksessa toim. Olby, Cantor, Christie ja Hodge 1990, s. 35.

tutkimuspainopisteenä oli jäämässä syrjään.²⁸² Internalistisen tutkimuksen polttopisteeseen nousivat aluksi evoluution ja kemian vallankumoukset, sitten geologian, genetiikan, sähkömagnetismin, suhteellisuusteorian ja kvanttimekaniikan vallankumoukset. Luonnontieteen historioitsija Thomas Kuhn käsittelikin kirjassa *Tieteellisten vallankumousten rakenne* (1962) luonnontieteen suuria käsitteellisiä vallankumouksia etsien tieteellisistä vallankumouksista yhteisiä rakenteita.²⁸³

Thomas Kuhnin kirja ei ollut kovinkaan merkittävä luonnontieteen historian perustutkimukselle, jossa edettiin kohti yhä tarkempaa kuvausta eri aikakausien ja tieteenalojen muutoksen luonteesta. Tämä tutkimus käytti entistä monipuolisempia tutkimusmetodeita ja yhä monipuolisempaa lähdemateriaalia. Luonnontiede liitettiin yhä tarkemmin eri aikojen aatteellisiin ja myös yhteiskunnallisiin konteksteihin. Positivistien käsitys luonnontieteen yleisistä tunnusmerkeistä kumottiin. Luonnontieteen yleisiin historian läpäiseviin piirteisiin tutkijat eivät enää uskoneet.²⁸⁴

4.1.5 LUONNONTIETEEN INTERNALISTISEN HISTORIAN PERINTÖ HPS- OPETUSTUTKIMUKSESSA

Kuhnin kirjasta *Tieteellisten vallankumousten rakenne* (1962) tuli kuitenkin suuri menestys. Sen vaikutuksesta luonnontieteen historian ja filosofian yhdistelmänä syntyi uusi *HPS-tutkimusliike*, jossa kritisoitiin ja kehitettiin Kuhnin vallankumouskirjan problematiikkaa tai pyrittiin luomaan tarkempia luonnontieteen käsitteellistä kehitystä kuvaavia tieteenfilosofioita.²⁸⁵ Tämä liike alkoi kiihtyä 1980-luvulle tultaessa.²⁸⁶

²⁸² Vuonna 1957 järjestettiin merkittävä tieteellinen symposiumi Wisconsinin yliopistossa, ja kokouksen tuloksena syntyi Marshall Clagettin toimittama kirja *Critical Problems in the History of Science* (1962). Kokouksen teemat olivat mielenkiintoisia: esim. biologian kehitys 1800-luvulla. Tämän teeman käsittelyn ohuutta Clagett pahoittelee, koska biologian historian tutkimus ei ollut historian tutkijoiden painopistealueita. Muutos oli aluillaan, mutta toisaalta edelleenkin pohdittiin tieteen vallankumoukseen liittyvää problematiikkaa. Clagett 1962, s. 21. Thomas Nickles, *The Philosophy of Science* Kuhnin kirjasta voidaan antaa monenlaisia tulkintoja, internalistinen on vain yksi monien joukossa. Toinen on sosiaalihiloriallinen, eksternalistinen, ja kolmas liittyy käsitteiden ja teorioiden oppimiseen. Tämän vuoksi kirja onkin eräänlainen solmukohta tässä tutkimuksessa. Neljäs tulkinta on vallankumousten yhdistäminen nerouteen.

²⁸³ Kathryn Oleskon mielestä muutos tapahtui 1960-luvun alusta lähtien, jolloin tutkijat alkoivat pitää jakoa internalismi ja eksternalismi tutkimuksellisesti jakomielisenä. Tutkimuksen kohteeksi tuli laajasti luonnontiede eri kulttuurikonteksteissa. *The Historiography of Science*, kirjassa toim. J. Heilbron 2003, s.368, myös *The History of Science*, Osiris, 1995, s. 138.

²⁸⁴ Kuhnin kirjasta voidaan antaa monenlaisia tulkintoja, internalistinen on vain yksi monien joukossa. Toinen on sosiaalihiloriallinen, eksternalistinen, ja kolmas liittyy käsitteiden ja teorioiden oppimiseen. Tämän vuoksi kirja onkin eräänlainen solmukohta tässä tutkimuksessa. Neljäs tulkinta on vallankumousten yhdistäminen nerouteen.

²⁸⁵ Kathryn Oleskon mielestä muutos tapahtui 1960-luvun alusta lähtien, jolloin tutkijat alkoivat pitää jakoa internalismi ja eksternalismi tutkimuksellisesti jakomielisenä. Tutkimuksen kohteeksi tuli laajasti luonnontiede eri kulttuurikonteksteissa. *The Historiography of Science*, kirjassa toim. J. Heilbron 2003, s.368.

²⁸⁶ Stephen Toulmin, Paul Feyerabend, Norwood Hanson ja Dudley Shapere kehittivät samaan aikaan kuhnilaisia käsityksiä tieteestä; Kiikeri ja Ylikoski 2004, s.56. Kuhnin työtä kehittivät edelleen taas David Hull, Michael Ruse, Imre Lakatos, Larry Laudan ja Patrick Suppe; Thomas Nickles, 1995, s.140. Vaikka HPS-painotteisia tutkimuksia ei enää esiinny erityisemmin Isis- tai *History of Science* -lehdissä, niin esimerkiksi lehti *Studies in the History and Philosophy of Science* jatkaa HPS:n käsiteanalyttistä linjaa.

Luonnontieteen historian ammatillistumisesta oli seurauksia luonnontieteen historian opetuskäytölle. Kun luonnontieteen historiaa käytetään opetukseen, se merkitsee väistämättä yksinkertaistamista. Luonnontieteen teorioista tai maailmankuvista on laadittava *opetusversio*. Opetuksessa käytettyjen käsitteellisten järjestelmien opetusversio vastaa tarkkuudeltaan ja dramatiikaltaan koirélaista tasoa ja sen ideoita. Sinällään se on kertomuksellisesti houkutteleva ja sopii hyvin opettamiseen.²⁸⁷

Opetuksen ja luonnontieteen historian tutkimuksen välisen kuilun sillaksi syntyi 1980-luvun lopulla HPS- opetusliike. Internalistinen luonnontieteen historia yhdessä teorioiden ja käsitteiden tieteenfilosofisen tarkastelun kanssa sopi luonnontieteen opetustutkimukseen erityisen hyvin. HPS- opetusliike haluaa käyttää luonnontieteen historian koirélaista internalistista, aatehistoriaan painottuvaa perinnettä opetustarkoituksiin. Se ei kuitenkaan voi käyttää erikoistutkimuksia suoraan vaan käyttää niistä tehtyjä presentistisiä sovellutuksia. HPS-opetuksessa tarvittiin erityisesti presentistisiä yleisesityksiä luonnontieteen historian monimutkaisesta kehityksestä. HPS-tulkinnan kannalta tärkeitä internalistisia luonnontieteen historian yleiskuvauksia ovat luvun kolme ensimmäisen teosryhmän kirjoittajat (Cohenin, Hallin, Gillispin, Kuhnin, Holtonin ja Brushin luonnontieteenhistorian yleiskuvat) sekä viimeisen ryhmän kirjoittajat (Fara, McClellan ja Horn, Eden, Cormack ja Dear). Näitä yleisesityksiä ei ole kirjoitettu ammattitutkijoille, vaan suurelle yleisölle ja opiskelijoille.²⁸⁸

Erityisen hyödyllinen kirja luonnontieteen historian kehittäjälle on kaksoisjulkaisu *The Oxford Companion to the History of Modern Science* (toim. Heilbron, 2003) ja saman toimituskunnan laatima lyhennetty versio edellisen historiografisista, tieteenfilosofisista ja biografisista artikkeleista *Oxford Illustrated Companion to the History of Modern Science* (toim. J. Heilbron 2008), joka soveltuu erityisesti opettamiseen. Opetusmateriaalin kehittäjä voi käyttää molempia kirjoja rinnan. Tässä kaksoiskirjassa yritetään ylittää kuilu, joka on syntynyt akateemisen luonnontieteen historian erityistutkimuksen ja kouluopetuksen välille.

Vuonna 1992 perustettiin aikakauslehti *Science & Education*, jossa HPS-liikkeen tutkijat ja myös käytännön opettajat ovat julkaisseet luonnontieteen historiallista tutkimus- ja opetusmateriaalia.²⁸⁹ Lehden päätoimittajana toiminut Michael Matthews kiteyttää HPS-opetuksen hyödyt seuraavasti:

²⁸⁶ 1980-luvulta lähtien alkoi tieteenfilosofian naturalistinen käänne, jolloin alettiin tarkastella erityistieteitä ja luovutettiin tieteenfilosofisesta normatiivisuudesta. Luonnontieteet eivät enää toimineet tieteenfilosofian mallitieteinä. Eriytistieteitä tuli kuvata sellaisena, kuin ne todellisuudessa olivat. Tutkittiin paikallista tiedettä ja tiedettä tutkimusprosessina, ei enää lopputuotteena. Kiikeri ja Ylikoski 2004, s. 79–82.

²⁸⁷ Katherine Park ja Lorraine Daston ihailevat tällaisen maailmakuvaan muutuskertomuksen tehoa, mutta se ei kuitenkaan heidän mielestään ole enää tutkimuksellisesti validi käsite. Teoksessa toim. Katherine Park ja Lorraine Daston 2006, s.15. Pitkä aikatiivistys dramatisoi muutosta tehokkaasti. Samanlainen muutuskertomus voidaan laatia kaikista suurista luonnontieteen teoriavaihdoksista. Muutuskertomukset saattavat olla opetuksellisesti liian tehokkaita ja ne peittävät luonnontieteen työnsä historiallisen ”normaalitieteen” vaiheen. Opiskelijoille saattaa jäädä harhaluulo, että tällainen muutos tapahtuu yhdessä päässä ja yhden heuristisen hetken aikana.

²⁸⁸ Yleiskuvan presentismin vahingollisuutta voidaan kuitenkin oikeilla opetustoimenpiteillä ehkäistä. Hull 1978 ja 2000, Wilson ja Ashplant 1988, Jardine 2003, Brush 1974 ja 1995, sekä Abadia 2008.

²⁸⁹ Luonnontieteen historian opetuskäytön painopisteistä kertovat *Science & Education* teemanumeroiden aiheet 1994–2009: tiede ja kulttuuri; hermeneutiikka ja tiedekasvatus; uskonto ja luonnontieteen opetus; filosofia ja konstruktivismi luonnontieteen opetuksessa (kaksoisnumero); tieteen luonne (NOS) ja luonnontieteen opetus; arvot tieteessä ja tiedekasvatuksessa; Galileo ja tiedekasvatus; lasten teorit ja tieteelliset teorit; Thomas Kuhn ja luonnontieteen opetus (kaksoisnumero); konstruktivismi ja luonnontieteenopetus; historia, filosofia ja kvanttimekaniikan opetus; luonnontieteen opetus ja positivismi (kaksoisnumero); heiluriliike 1. Osa (pendulum): tieteellinen, historiallinen ja filosofiskasvatuksellinen näkökulmia (kaksoisnumero); luonnontieteen opetus varhaismodernissa Euroopassa,

- HPS-opetus voi tehdä luonnontieteestä humaania. Historia yhdistää luonnontieteet henkilöhistoriaan, kulttuuriin, etiikkaan ja politiikkaan. On näyttöä, että HPS-opetus saa muuten luonnontieteistä kiinnostumattomat opiskelijat innostumaan luonnontieteistä.
- Kun HPS-opetus perustuu kontekstuaaliseen käsiteanalyysiin ja logiikkaan, se tekee opetuksesta haasteellista ja kehittää ajattelutaitoja.
- HPS-opetus käsittelee merkityksellisiä asioita ja se antaa teorioista ja käsitteistä ”täydemmän” kuvan. Näin voidaan ylittää opetuksen faktapaljouden ”merkityksettömyyden meri”.
- HPS-opetuksen lisääminen luonnontieteen opettajakoulutukseen antaa opettajille rikkaamman ja autenttisemman käsityksen luonnontieteestä.
- HPS-opetus käsittelee erityisesti menneitä käsitejärjestelmiä ja niiden muutoksia. Opiskelijat ymmärtävät, miksi joidenkin käsitteiden muutos on ollut vaikea prosessi. Tämä auttaa erityisesti opiskelijoita, joilla on oppimisvaikeuksia.
- HPS-opetuksen kautta voidaan saada selkeämpi käsitys moniin opetusta käsitteleviin kiistoihin.

Konstruktivistit, feministitutkijat, monikulttuurisuustutkijat, tutkimuskeskeinen opetus ja STS- opetussuunnitelmat perustavat näkemyksensä tiettyihin luonnontieteen historiallisiin ja tieteenfilosofiin oletuksiin. Ilman HPS-perustietämystä opettajat sortuvat helposti muodikkaisiin opetusideoihin.²⁹⁰ Myöhemmin Michael Matthews vielä täsmentää: järjellisyys, realismi ja rationalismi ovat oikean HPS-opetuksen lähtökohtia.²⁹¹ Tämän ja yleissivistyksen vuoksi opiskelijoiden olisi tunnettava nämä länsimaisen luonnontieteen erityispiirteet. Siksi sillä tulee olla koulutuksessa erikoisasema. Tässä muodossa HPS-opetusohjelma on yhteensopiva sen kanssa, mitä internalistit ja Koyré esittävät.

4.2 LUONNONTIETEEN EKSTERNALISTINEN HISTORIALLINEN TULKINTA JA SEN OPETUKSELLINEN PERUSTELU

4.2.1 LUONNONTIETEEN HISTORIAN EKSTERNALISTISEN TULKINNAN LÄHTÖKOHDAT

Aleksandre Koyré korosti luonnontieteen historiassaan nerojen merkitystä luonnontieteen edistymisessä. Koyré'n oppilas Thomas Kuhn antaa kirjassaan *Tieteellisten vallankumousten rakenne* (1962) luonnontieteen teorianmuutokseen toisen tulkinnan: vallankumous voidaan tulkita kollektiiviseksi ilmiöksi.²⁹² Luonnontiede ilmiönä palautuukin Kuhnin vaikutuksesta

kaksoisnumero: heiluriliike osa 2; ”Oppiminen ja viihtyminen”, 1800-luvun luonnontieteen opetuksen sovellutuksia tälle vuosituhannelle; mallit tieteessä ja luonnontieteenopetus (kaksoisnumero); tieteen luonteen opettaminen ja arviointi (kaksoisnumero); darwinismismi ja luonnontieteenopetus osa 1, sekä darwinismi ja luonnontieteenopetus osa 2.

²⁹⁰ Michael Matthews, *Science Education, The Role of History and Philosophy of Science* 1994, s.7. Myös J. Solbes ja M. Traver, *Against a Negative Image of Science: History of Science and the Teaching of Physics and Chemistry*, Science & Education 2003.

²⁹¹ ”Reason, Realism and Rationalism”, Michael R. Matthews, *Science Education, The Role of History and Philosophy of Science*, 1994, ibidem, s.9.

²⁹² Tästä huolimatta Kuhn kertoo Koyré'n olleen hänen ajattelunsa suurin vaikuttaja. Michael Friedman, *History and Philosophy of Science in a New Key*, Isis 2008, s.126.

yhteisölliseksi ja yhteiskunnalliseksi toiminnaksi.²⁹³ Tätä seikkaa opetuksessa korostaa luonnontieteen historian opetuksen toinen haara, joka on syntynyt HPS:n kritiikiksi ja vaihtoehdoksi. Tätä suuntausta kutsutaan STS-suuntaukseksi (Science, Technology and Society).²⁹⁴ Koyrélle tiedemiehet eivät olleet ammatinharjoittajia vaan totuudentavoittelijoita ja siksi historiallisesti yhteydessä suuriin filosofeihin. HPS-tutkijoiden mielestä tiede on ollut tämän vuoksi myös kasvatuksellisesti arvokasta: opiskelijat pääsevät kosketukseen siihen, mikä länsimaisessa kulttuurissa on ollut arvokasta, nimittäin totuuden tavoittelu.²⁹⁵

Tieteensosiologien mielestä luonnontieteen historiaa on käytetty juuri tällaisen propagandan välineenä. STS-suuntaus ei voi hyväksyä luonnontieteen nostamista muiden yhteiskunnallisten ilmiöiden yläpuolelle tai luonnontieteiden erikoisasemaa koulutuksessa. Opiskelijoiden olisi tarpeellisempaa saada tietoa luonnontieteen yhteiskunnallisista merkityksistä kuin luonnontieteen teorioiden yksityiskohdista, joita he eivät koskaan tule käyttämään käytännön ammatinharjoittamisessa.

Luonnontieteen historian eksternalistisen tradition historiallinen lähtökohta on sama kuin internalistisen. Luonnontieteen historian kiinnostuksen kohde oli aluksi tieteen vallankumous. Erityisesti etsittiin internalistisesti määritellyn prosessin syitä 1500- ja 1600-lukujen yhteiskunnasta ja sen talouden vaatimuksista. Myöhemmin tutkimustulokset on pyritty ulottamaan koskemaan tiedettä kaikkina aikoina.²⁹⁶

²⁹³ Roy Porterin mukaan Kuhnin vallankumouskirjasta tuli keskeinen vaikuttaja luonnontieteen sosiaalishistorian tutkimuksen kehityksessä. Porter, *The History of Science and the Philosophy of Science*, teoksessa toim. Olby, Cantor, Christie ja Hodge 1990, s. 37–38.

²⁹⁴ Joan Salomon kirjoittaa uuden liikkeen taustoista artikkelissa *What and Why is STS* 1993. Keskeisiä historiallisia näkökulmia STS:ssä ovat Solomonin mukaan seuraavat teemat: "...tieteellinen ajattelu ja käytännön toiminta, tiedon yhteys työhön, tiede on ihmisiä varten, sota ja tieteellinen vastuu ja tiedon sosiologinen tulkinta." STS:n mukaan kaikki ihmiset tarvitsevat tietoa luonnontieteestä, esimerkiksi ympäristöuhkien torjumiseen, teknologian taloudellisen puolen ymmärtämiseen ja lisäksi kansalaisten on käsitettävä luonnontieteen erehtyväinen luonne. Tietoa luonnontieteestä tarvitaan demokraattiseen päätöksentekoon, toimintaan, osallistumiseen sekä luonnontieteen monikulttuurisen dimension ymmärtämiseksi. Luonnontieteen historia on Solomonin mukaan eräs osa tätä kasvatusta. Solomon 1993, s. 7–18.

²⁹⁵ "Totuus" on ollut hankala käsite tieteenfilosofiassa, eivätkä filosofien kehittämät totuusteoriat kuvaa täsmällisesti tiedettä (esim. Kivinen ja Ristelä, *Totuus, kieli ja käytäntö*, 2007. Erityisesti luku Totuus on kielen asia, s. 24–40, sekä Kiikeri ja Ylikoski 2004). Tieteensosiologien tieteen "totuudet" ovat tiedeyhteisön sopimusasioita, ne ovat sosiaalisia konstruktioita. Kiikerin ja Ylikosken mukaan tämä tulkinta on virheellinen. Kun tieteensosiologit kirjoittavat, että tieteelliset faktat ovat sosiaalisia konstruktioita, he eivät tarkoita "pelkkiä sosiaalisia konstruktioita". Tieteelliset faktat voivat olla olemassa molemmilla tavoilla. Sosiaalinen konstruktio on tutkijoille tutkimuslähtökohhta, ei sen lopputulos. Luonnontieteen historiassa tämä lähtökohta on ollut hedelmällinen tieteellisiä kiistoja tutkittaessa, tällöin kiistan molempia osapuolia tutkitaan aivan kuin ei lopputulosta tiedettäisi. Kiikeri ja Ylikoski 2004, s. 218. Ian Hacking on analysoinut akateemisia tutkimuksia, joissa käytetään lähtökohtana sosiaalista konstruktivismia. Niiden tulkinat kyseisestä käsitteestä ovat ristiriitaisia. Ian Hacking, *Mitä on sosiaalinen konstruktio*, Hacking 2009, s. 13–15. Jay Labingerin ja Harry Collinsin (2001) toimittamasta "liennytyskonferenssi" -kirjasta näkyy, kuinka ristiriitaisia käsityksiä tutkijoilla on käsitteestä "sosiaalinen konstruktio".

²⁹⁶ John Morrell antaa lyhyen määritelmän eksternalismille artikkelissa *Dictionary of the History of Science*, teoksessa toim. W.F. Bynum, E.J. Browne & R. Porter 1982, s. 145: "Näkemykset, jonka mukaan sosiaaliset, poliittiset ja taloudelliset olosuhteet vaikuttavat luonnontieteen tutkimukseen." Artikkelissa eksternalismi nähdään internalismin vastakohtana ja sen marxilainen, deterministinen muoto tuomitaan. Morrell hyväksyy maltillisen mertonilaisen eksternalismin. John Heilbronin toimittamassa teoksessa *The Oxford Companion to the History of Modern Science* 2003 kumpaakaan hakusanaa ei mainita erillisinä artikkeleina. Luonnontieteen historian aikakauslehti *Isiksen* artikkelien sisällöissä käännekohta ajoittuu 1980-luvun alkuun. Tällöin eksternalistiseksi luokiteltavien tutkimusten määrä lehdessä kasvaa selvästi.

Internalistisessa luonnontieteen opetuksen tulkinnassa löytyy opetuksellinen hierarkia: valistuksen kertomuksesta kontekstuaaliseen HPS-kertomukseen. Eksternalistisessa luonnontieteen historian perinteessä ei hahmotu tällaista hierarkiaa. Perinteestä joudutaan etsimään aina aikakausittain sopivia opetettavia piirteitä opettamisen sisällöiksi. Tässä luvussa tutkitaan luonnontieteen eksternalistisia piirteitä ja etsitään tieteensosiologian opetuskokeiluista sisältöjä suomalaisen lukion opetuksisältöihin.

4.2.2 MARXILAISET LUONNONTIETEEN HISTORIAN TULKINNAT JA NIIDEN HERÄTTÄMÄT REAKTIOT

Yksi ja vieläkin eri muodoissa elinvoimainen luonnontieteen eksternalistisen historian näkökulma on marxilainen traditio.²⁹⁷ Kommunistinen tulkinta liittyy Leninin tulkintoihin marxilaisuudesta. Kun sosialistinen Neuvostoliitto vakiintui järjestelmänä, Stalinista tuli sekä marxilaisuuden että Leninin ajatusten virallinen tulkki. Stalinin Neuvostoliitossa panostettiin voimakkaasti luonnontieteelliseen tutkimukseen. Uusi sosialistinen yhteiskuntakokeilu haluttiin perustaa tieteeseen ja tieteellinen koulutus laajennettiin koko väestöä koskevaksi. Neuvostotieteen tuli käytännön kautta hyödyttää neuvostoyhteiskunnan rakentamista. Suurilla panostuksilla laajennettiin luonnontieteellinen ja tekninen koulutus koskemaan suuria ihmis-massoja. Neuvostotieteen ja tekniikan saavutukset vuoteen 1960 mennessä olivat huomattavat.²⁹⁸ Perimmäisestä tiedeuskosta huolimatta marxilainen ideologia kuitenkin kahlitsi tieteellistä tutkimusta. Tämä aiheutti monia vääristymiä neuvostotieteeseen. Stalinin tiedepolitiikka on hyvä esimerkki siitä, mitä ideologioiden ohjaaminen saa aikaa tieteessä (esim. lysenkolaisuus).²⁹⁹

²⁹⁷ Kathryn Olesko erottelee kolme luonnontieteen historiaan vaikuttanutta marxilaista virtausta: historiallinen materialismi, kommunismi ja humanistinen marxilaisuus. Humanistinen marxilaisuus on edelleen elinvoimainen. Se kehittyi kylmän sodan aikaan lännessä. Oleskon mukaan tämä marxilaisuus on luonut viime vuosikymmeninä uusia tulkintoja. Näistä tulkinnoista hän nostaa esiin sosialistifeministi Donna Harawayn, joka on tutkinut tiedettä ja tekniikkaa sukupuolisidonnaisuuden näkökulmasta. Olesko, *Marxism*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003b, s. 487–488.

²⁹⁸ Valtion rahoittamat jättiläishankkeet olivat yhdistelmiä ”puhtaasta” tieteestä, ”sovelletusta” tieteestä ja insinööritaidosta. Tällaisia hankkeita kutsutaan tieteenhistoriassa nimellä ”Big Science”. Aleksei Kojevnikov, *The Phenomenon of Soviet Science*, *Osiris* 2008, s. 122–132.

²⁹⁹ Lännessä taas oli kylmän sodan aikaan ihanteena puhdas koiräläinen, intressitön tiede. Lysenkolaisuus on malliesimerkki ideologian vaikutuksesta perustutkimuksen teorian kehitykseen ja samalla teoreettisen tutkimuksen vaikutuksesta yhteiskuntaan ja talouteen. Lysenkolainen, lamarckilainen evoluutioteorian muunnos oli sopusoinnussa marxilaisen teorian kanssa. Se johti vernalisaation, kasvien kylmäsiedätyksen, laajoihin viljelysovellutuksiin ja myöhemmin suuriin viljakatoihin. Lysenkolaisuus johti darwinisti Nikolai Vavilovin syrjäyttämiseen ja kuolemaan vankileirillä. Nils Roll-Hansen, *Osiris* 2008, s. 166–188. C. D. Skordoulisin mukaan jako ”proletaariseen tieteeseen” ja ”porvarilliseen tieteeseen” vakiintui Stalinin valtakautena neuvostoliittolaiseen luonnontieteeseen. *Science and worldviews in the marxist tradition*, *Science & Education*, 2007, s.8. Tähän kylmän sodan ideologiseen kontekstiin liittyy Sir Karl Popperin teos *The Open Society and Its Enemies* 1962. Popperin mukaan uuden tieteen mallin mukainen ”avoin yhteiskunta” perustui luonnontieteeseen ja sen vastakohtana olivat muinaiset uskontoon ja myyttiin perustuneet yhteiskunnat. Liberaali demokratia perustuu avoimeen yhteiskuntamalliin. Hitlerin Saksa ja sosialismi edustivat taas suljettua mallia. Suljettujen yhteiskuntien tuotteita olivat ”antitiedettä” edustaneet teoriat: ”arjalainen-fysiikka”, ”pohjoinen tiede” ja ”lysenkolaisuus”. Laaja historiallinen yhteenveto natsitieteen vääristymistä eri tieteenaloilla löytyy kirjasta John Cornwell, *Hitler’s Scientists: Science, War and the Devils Pact* 2003. Luonnontieteen historioitsija Meera Nanda näkee samantyyppisen ilmiön ”vahvan ohjelman” ääritulkinnassa sekä äärihindulaisuutta edustavassa ”veedalaisessa tieteessä”: ”Kuten kommunismin ja fasismin esimerkit osoittavat, kun nämä irrationalistiset virtaukset yhdistyivät valtaan, merkitsee tämä suurta vaaraa tieteelle. Tieteen rationaalisuuden, valistuksen ideoiden ja avoimen yhteiskunnan puolustaminen on ainoa vastalääke näille virtauksille.” Meera Nanda, *Antiscience*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 39–41. Taner Edisin mukaan islamilaisissa maissa samankaltainen ideologinen jännite koskee Islamin uskontoa ja evoluutioteoriaa. Edis, *Modern Science and Conservative Science: An Uneasy Relationship*, *Science & Education* 2008.

Historiallinen materialismi taas syntyi 1850-luvulla ja sen vaikutukset ovat vieläkin selkeästi nähtävissä luonnontieteen historiassa. Sen perustulkinta on, että yhteiskunnan sosiaalinen ja kulttuurinen kehitys johtuu muutoksista yhteiskunnan taloudellisissa perusrakenteissa. Myös luonnontieteen ja tekniikan muutokset on palautettavissa talouden perusrakenteiden muutokseen.³⁰⁰

Luonnontieteen historiankirjoituksessa voidaan erottaa kaksi suurta poliittista ”tiedesotaa” (Science Wars).³⁰¹ Ensimmäinen koski marxilaisuutta ja toinen ns. postmodernia tieteen tulkintaa. Molempien vastapuolena on toiminut moderni, idealistiseksi leimattu tiedekäsitys, joka liittyy voimakkaasti internalismiin ja Koyrén luonnontieteen historian tulkintaan. Siinä luonnontiede nähtiin autonomisena, intressittömänä ja puhtaana pyrkimyksenä totuudelliseen tietoon luonnosta. Ristiriita idealistisen, perinteisen internalistisen ja marxilaisen luonnontieteen tulkinnan välillä oli väistämätön.

Luonnontieteen historioitsijat havahtuivat marxilaiseen tulkintaan vuonna 1931, kun neuvostoliittolainen valtuuskunta saapui Lontooseen kansainväliseen tieteenhistorialliseen kongressiin. Kongressissa fyysikko Boris Hessen (artikkelin kirjoittaja) (1893 – puhdistuksissa 1936) ja ”kommunistisen puolueen lemmikki” (delegaation johtaja) Nikolai Buharin (1893 – puhdistuksissa 1938) esittivät radikaalin tulkinnan tieteen ja teknologian historiasta artikkelissaan *The Social and Economic Roots of Newton's 'Principia'*.³⁰²

Tutkimussaan Hessen mielestään osoitti, että Newtonin Principian (1687) kolmen kirjan sisältämät tutkimusongelmat olivat suoraan heijastusta 1600-luvun kehittyvän kapitalismin teknologisista tuotanto-ongelmista. Toinen Hessenin väite oli, että koska Newton oli luokkan-
sa, porvariston, edustaja, hän ei kyennyt tekemään mekanistisesta maailmankuvastaan marxilaisuuden mukaisia (Hessenin mukaan oikeita) materialistisia ja ateistisia johtopäätöksiä. Tutkimuksellisesti väitteiden torjuminen ei ollut kovin vaikeaa, sillä niiden historiallinen perustyö oli heppoisella pohjalla. Hutiloidusti tehdyn tutkimuksen seuraukset olivat kuitenkin paljon laajemmat kuin työn varsinainen tutkimusarvo³⁰³, sillä Hessenin tutkimuskysymys oli tärkeä: millainen on tieteen ja yhteiskunnan välinen suhde eri historiallisina aikoina? Edellä

³⁰⁰ Kathryn Olesko, *Marxism*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003b, s. 488.

³⁰¹ Oikeastaan ”tieteiden sodat”, Science Wars. Ian Hackingin (2009) suomentaja Inkeri Koskinen kääntää termin *tiedesodiksi*. Hacking 2009, s.17.

³⁰² Kojevnikovin mukaan Buharinin ja Hessenin ilmestyminen kongressiin oli lännen luonnontieteen historioitsijoille järkytys. Marxilaisia käsitteitä ei ollut käytetty luonnontieteen historiassa aiemmin. Luonnontieteen historia oli ollut internalistista tieteenfilosofista käsitteanalyysiä. Yhteiskunnallisesti suuntautuneille tutkijoille uusi marxilainen tulkinta luonnontieteen historiasta oli taas tärkeä silmien avaaja. Kojevnikov, *Osiris* 2008, s.123. Buharinin ja Hessenin ilmestyminen antoi impulssin marxilaisuuden leviämisen Iso-Britannian tutkijoiden keskuuteen, mm. tutkijat Hyman Levy, J.B.S. Haldane, Lancelot Hodgen ja J.D. Bernal olivat marxilaisia. Bernalin kannanotot taas vaikuttivat myöhemmin koulutuspolitiikkaan (hän esitteli luonnontieteen opetuksen käsitteet ”discovery learning” ja ”Science for all”). C. D. Skordoulis, *Science and worldviews in the marxist tradition*, *Science & Education* 2007, s. 11–13.

³⁰³ Floris Cohen mainitsee myös kolmannen hessen-teenin, joka paljastaa marxilaisuuden tyypillisen piirteen. Kommunismin perustajaisien nimiin (tässä tapauksessa Engelsin) laitettiin kaikenlaisia tieteellisiä ja teknisiä innovaatioita. Cohen 1994, s. 329. Hessenin paperi sisälsi monia uskottavuutta heikentäviä historiallisia lapsuksia, *ibidem*, s. 329–331. Myöhemmin on käynyt ilmi, että Hessenin paperi ei niinkään käsitellyt luonnontieteen historiaa, vaan sillä oli ideologinen päämäärä. Luonnontieteen historioitsija Loren Grahamin mukaan Hessenillä oli itsellään kaksi poliittista tavoitetta julkaistessaan kirjoituksensa: ensinnäkin osoittaa oma marxilainen puhdasoppisuus, ja toiseksi osoittaa, että Neuvostoliitto voi hyväksyä Einsteinin suhteellisuusteorian, vaikka sen porvarilliset juuret olivat itse teoriassa nähtävissä. Loren Graham, *The Socio-political Roots of Boris Hessen: Soviet Marxism and The History of Science*, *Social Studies of Science* 1985/4.

kuvatut Hessen-teesit olivat lähtölaukaus uudelle tutkimustavalle, joka oli haaste vallassa olleelle idealistiselle eli internalistiselle tieteen historian tulkinnalle. Newtonin Principia oli internalistisen tulkinnan mukaan uuden tieteen suurin saavutus, ja siksi Hessenin haaste oli vakava.³⁰⁴ Newtonin Principia oli rakenteeltaan niin abstrakti ja matemaattinen, että sen taloudellisen teknisen perustan osoittaminen oli käytännössä mahdotonta, ja siksi Hessenin väitteiden torjuminen oli helppoa. Marxilainen tulkinta tieteenhistoriasta koettiin kuitenkin uhkaksi, ja kiista internalismi–eksternalismi -akselilla kiristyi seuraavien vuosikymmenien aikana. Tieteenhistorioitsija Floris H. Cohen näkee kiistan alun juuri tässä Hessen-episodissa.³⁰⁵

Luonnontieteen historian sosiologinen tulkinta tieteen vallankumouksesta innosti lisätutkimukseen mannermaalla, kun saksalainen filosofi ja tutkija, Wienin piirin jäsen, Edgar Zilsel tarttui myös uuden tieteen syntyä käsittelevään teemaan. Zilsel oli marxilainen, kuten monet Wienin piirin jäsenet, hänen tapauksessaan se ei kuitenkaan merkinnyt tieteenhistoriassa vulgaaria tutkimusotetta.³⁰⁶ Hän, kuten monet muutkin oppineet, pakeni natsihallintoa Yhdysvaltoihin ja julkaisi 1941–1942 tutkielman *The Sociological Roots of Science*. Sen keskeinen väite oli, ettei länsimaisen tieteen kvantitatiivista, kokeellista tutkimusmetodia voinut erottaa nousevan kapitalismin talouteen liittyvästä kvantitatiivisesta ja laskennallisesta juonteesta.³⁰⁷ Zilselin mukaan tieteen synty perustui kahden toisiaan tukevan tiedon haaran, luonnontieteen teorian ja *käytännön tekniikan* vuorovaikutukseen.³⁰⁸ Erityisesti taustalla olivat purjehduksessa navigointiin liittyvät ajanmittausongelmat. Zilselin mukaan nämä trendit liittyivät toisiinsa jo kaksi vuosisataa ennen tieteen vallankumousta. Tämä kehitys oli vankka pohja luonnontieteen tulevalle vallankumoukselle. Yhteiskunnan rakenteellinen muutos eli keskiaikaisten feodaalisten säätyrajojen murtuminen mahdollisti näiden kahden toisiaan hedelmöttävän juonteiden, teorian ja kokeellisen käytännön, yhtymisen.³⁰⁹

³⁰⁴ I.B. Cohen ja George E. Smith, *The Cambridge Companion to Newton* 2002, pitävät vieläkin Principiaa (1687) luonnontieteen kannalta käännteentekevänä. Siinä fysiikka erotettiin luonnonfilosofiasta (eronteko aristotelismiin ja karteesiolaisuuteen), s.2. Patricia Fara kirjoittaa kirjassaan *Newton, The Making of Genius*, 2003, että luonnontieteen historiantutkijat pitivät Hessenin artikkelia pyhäinhäväistyksenä. Fara 2006, s.262.

³⁰⁵ Cohen 1994, s. 332. Kiistan tiedepoliittinen tausta oli laajempi kuin Cohenin tekstissä kuvattu. Marxilaisuus oli 1930-luvun alussa aatteellisenä virtauksena tiedemiesten suosiossa fasismien ja laman uhatessa demokratiaa. Englannissa vaikutti voimakas marxilainen virtaus myös luonnontieteen historiassa.

³⁰⁶ Diederick Ravenin ja Wolfgang Krohnin laajasta elämäkerrallisesta ja tieteenhistoriallisesta esipuheesta teokseen Edgar Zilsel, *The Social Origins of Modern Science*, Boston Studies in the Philosophy of Science 2000.

³⁰⁷ Zilselin mukaan aikana 1300–1600 Euroopassa vaikutti kolme aatteellista kerrostumaa: yliopisto-oppineet, humanistit ja käsityöläiset. Kaksi ensimmäistä olivat eristäytyneet manuaalisesta työstä, kuten kokeellisuudesta, mekaniikasta tai ruumiinavauksista. Käsityöläiset olivat kausaalisen ajattelun pioneereja. Tiedot käsityöläisten ylimmät ammattiryhmät (taiteilija-insinöörit, kirurgit, purjehtijat ja asesepät) taas tekivät kokeita, ruumiinavauksia ja käyttivät kvantitatiivisia metodeja. Kahden ensimmäisen ryhmän jäsenet oli eristetty käsityöläisten ryhmästä sosiaalisen rajaidoin. Käsityöläisiltä taas puuttui metodinen ja rationaalinen koulutus. Varhaisen kapitalistisen yhteiskunnan synty mahdollisti eri kerrostumien yhdistymisen sellaisten tutkijoiden kuten Gilbertin, Baconin ja Galilein työssä. Zilsel 2000, s.7.

³⁰⁸ Theodore Porterin mukaan juuri Zilsel toi käytännön tekniikan välttämättömäksi tieteen vallankumouksen komponentiksi koiräläisen aatehistoriallisen tulkinnan täydentäjäksi; Porter, *How Science became Technical*, Isis 2008, s.295.

³⁰⁹ Londa Schiebingerin mukaan useat näitä ”oppimattomista” olivat naisia; Londa Schiebinger, *Women in natural Knowledge*, teoksessa toim. Katherine Park ja Lorraine Daston 2006, s.199.

Luonnontieteen historian internalismin puolustaja A. Robert Hall ei kiistänyt tätä yhteyttä.³¹⁰ Hänen mukaansa luonnontieteen ja tekniikan yhteys vaihteli luonnontieteen vallankumouksen aikana ”tieteenaloittain” (esim. kemiassa vaikutusta oli jonkin verran). Astronomiassa, jossa todellinen vallankumous tapahtui, teknisten instrumenttien vaikutus oli kuitenkin vähäinen. Luonnontieteen vallankumous tapahtui Hallin mukaan vain käsitteellisellä tasolla.³¹¹ Hall oli koyrélainen, ja hän oli astronomian osalta suurelta osin oikeassa. Luonnontieteen vallankumouksen pohja oli pitkälti luotu jo ennen uusien havaintoinstrumenttien keksimistä. On kuitenkin muistettava, että Tyko Brahen observatorio oli jo mittava havaintokompleksi, vaikkei siinä uutta optiikkaa käytettykään. Keplerin lait, jotka olivat tieteen vallankumouksen kannalta keskeisiä, perustuivat Brahen tarkkoihin havaintoihin.³¹² Myöhemmin, kun luonnontieteen vallankumous oli jo tapahtunut, astronomian ja klassisen mekaniikan uusien tutkimustulosten varmentamisessa yhä tarkentuvilla instrumenteilla oli suuri merkitys.³¹³

Syntynyt kiista koski ilmiöiden selittämistä historiassa ja hyväksyttävän lähdemateriaalin käyttöä selityksissä. Vaikka luonnontieteen tutkimusten todistuskontekstissa ei teknisiä instrumentteja erityisesti mainittu, niiden valmistus, kauppa ja käyttö olivat 1600-luvulla erittäin laajaa. Ne olivat tasavertaisena osana tieteen vallankumousta, vaikka akateemisesti ajateltuna kyseessä oli ”alempi”, tekninen taito (ars). Kaikilla vallankumousajan tutkijoilla oli mutkaton suhde instrumentteihin, ja he kehittivät ja usein myös valmistivat niitä itse.³¹⁴

³¹⁰ Steven Shapinin mukaan Zilselin hahmottelema ”aliarvostettu” luonnontieteen historian sosiaaliryhmä oli aivan keskeinen tieteen vallankumouksessa. Koyrén johtama internalistinen ryhmittymä onnistui Hallin johdolla kieltämään tämän sosiaaliryhmän merkityksen. 1980-luvulla, kun luonnontieteen sosiaal historian tutkimus elpyi, ”käytännön matematiikan harrastajat ja käsityöläiset ” löydettiin usealla taholla uudelleen; Shapin, *The Man of Science*, teoksessa toim. Katharine Park ja Lorraine Daston 2006, s. 181–182.

³¹¹ Marshall Clagett, Editorial, *Critical Problems in the History of Science*, teoksessa toim. Marshall Clagett 1962, s. x.

³¹² Owen Gingerich, Brahe, Tycho, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 111.

³¹³ Curtis Wilson kuvaa Principiasta johdettujen ennusteiden todentumista 1700-luvun yhä tarkentuvilla instrumenteilla, sekä myös havaintoilmiöitä, joihin Principian dynamiikkaa oli vaikea soveltaa, Wilson, *Newton and celestial mechanics*, teoksessa toim. I.B. Cohen ja George E. Smith 2002, s. 202–223.

³¹⁴ Luonnontieteen historiat usein vaikenavat luonnontieteen instrumentteihin liittyvästä kaupallisesta vallankumouksesta. Jim Bennett, *Instruments and Surveying*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 415–416. Bennettin mukaan vallankumous eteni kolmessa aallossa. Ensimmäiseksi 1500-luvulta lähtien alkoi ”matemaattisten instrumenttien” kehitys ja niiden kauppa laajeni. Niitä ei käytetty luonnonfilosofisissa selityksessä (”fysiikassa”), vaan apuna käytännöllisissä ongelmissa, kuten horoskooppien laadinnassa, ajan mittaamisessa, leveyspiirin määrittämisessä ja karttojen piirtämisessä. Teknisenä apuneuvona niitä saatettiin käyttää kopernikaanista teoriaa, vaikkei teoriaa fysikaalisena tulkintana voitu hyväksyä. Matematiikan käyttöä pyrittiin tehostamaan sodankäynnissä, navigoinnissa ja kaupassa. Matematiikka oli arvostettua ruhtinashoveissa, mutta yliopistoissa se oli muiden tieteenalojen alapuolella (mm. luonnonfilosofian). Merkittävä uusi vaihe instrumenttien kehityksessä alkoi 1600-luvun alussa, jolloin instrumentteja alettiin käyttää luonnonfilosofian apuna. Mikroskooppihavaintoja käytettiin myös luonnonfilosofisten hypoteesien tukena, maailma alettiin nähdä pienten partikkelien mekanismina (karteesiolaisuus hyvänä esimerkkinä). Huomattavaa on uusien ammattikuntien synty, esimerkiksi linssinhiojat, ja se, että kaikki huippututkijat olivat myös taitavia instrumenttien valmistajia (Galilei, Kepler, Huyghens, Descartes, Hooke, Newton, Leewenhoek, Malpighi). Opisteen instrumenttien tärkein kaupallinen keskus syntyi Lontoon. Kolmas instrumenttikaupan kohde 1600-luvulla oli eksperimentteihin käytetyt laitteet, kuten ilmapumput ja sähköä tuottavat apparatuurit. Kyseessä oli aktiivinen sekaantuminen luonnon toimintaan passiivisten havaintojen sijaan. Uudet tieteelliset seurukset suosivat erityisesti julkisesti toistettavissa olevia kokeita. Näiden laitteiden markkinat kasvoivat voimakkaasti 1600-luvulla. Jim Bennett, *Instruments and Instrument Making*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 408. Vaikka luonnonfilosofia oli virallisesti erillään luonnontieteellisessä käytännön mekaniikan instrumentaalisesta tutkimuksesta, Bennett painottaa sen olleen voimakkaasti uuden tieteen taustalla. Jim Bennett, teoksessa toim. Katherine Park ja Lorraine Daston 2006, s. 693–694. Koyrélaisessa näkökulmassa tämä tieteen puoli jää täydellisestä katveeseen. Nykyisin luonnontieteenhistoria usein halutaan irrottaa filosofiasta. Halutaan korostaa *käytännön* ja *instrumenttien* merkitystä uuden tieteen synnyssä (esim. Jacob 2004 ja 2010, Dear 2006). Margaret Jacobin *The Scientific Revolution, A Brief History with Docu-*

Tieteelliset instrumentit toivat luonnonfilosofiaan uuden piirteen: luonnontieteen tutkimuksessa ei ollut passiivista, filosofispohjaista luonnontarkkailua, vaan kyseessä oli aktiivinen, instrumenttien avulla tietoa etsivä asenne, jossa yhdistyi tekninen taituruus luonnonfilosofiseen selittämiseen ja matematiikan käyttöön kuunalisessa maailmassa.³¹⁵ Kun Galileo Galilei toimi 1592 Paduassa matematiikan professorina, hän luennoi astronomiasta, matematiikasta, linnoittamisesta ja maanmittauksesta. Galilei oli myös taitava käsityöläinen, jolla hyvät yhteydet tekniikan huippuammattilaisiin.³¹⁶ Vuonna 1609 hän sai Hollannista uuden keksinnön, teleskoopin, jonka avulla hän ylitti luonnonfilosofian ja astronomian välisen akateemisen raja-aidan.³¹⁷

Myös Isaac Newton oli taitava tekniikko, joka rakensi oman alkemiallisen laboratorion, laati optisia koejärjestelyjä ja rakensi uudentyypisen peilikaukoputken.³¹⁸ 1800-luvulla Charles Darwin oli taas taitava kasvien viljelijä ja eläinten jalostaja. Darwin oli kuin tiedon hämähäkki monentasoisten tietoverkkojen keskellä, sillä hänellä oli myös vilkkaat yhteydet muihin käytännön eläinjalostajiin ja viljelijöihin, eri alojen huippututkijoihin sekä ammattimaisiin näytteidenkerääjiin eri puolella maapalloa.³¹⁹ Luonnonhistoriallisesti käytäntöön suuntautunut Darwin oli kaukana kontemplatiivisesta kreikkalaisesta luonnonfilosofista. Luonnontiede oli monin eri tavoin kytkeytynyt arkielämään ja maailmaan, siksi pelkkä internalistinen rationaalinen, idealistinen HPS-kertomus luonnontieteestä on vain luonnontieteen historian varjo.

4.2.3 SOSIAALISET SELITYKSET LUONNONTIETEEN HISTORIASSA

Boris Hessenin ilmestymisellä luonnontieteenhistorian kongressiin Englantiin 1931 oli suuri vaikutus nuoren sosiologin Robert K. Mertonin (1910–2002) luonnontieteen syntyä käsittele-

ments 2010 on tarkoitettu erityisesti opettajille. Opetusmateriaalin käyttöön on annettu ohjeet, miten ne valaisevat luonnontieteen muutoksen keskeisiä piirteitä.

³¹⁵ Aristoteleen mukaan matematiikkaa sai käyttää kuunylisessä maailmassa eli astronomiassa. Kuunalinen maailma oli laadullisen muutoksen vyöhykettä, ja siksi sinne eivät sopineet matemaattiset kuvaukset. Mollandin mukaan Aristoteleen järjestelmän kokonaisuuteen tämä jako sopi, mutta monissa luonnonfilosofian tutkimusalueissa aristoteelikit *käytännössä* sovelsivat matematiikkaa. Molland, teoksessa toim. Olby, Cantor, Christie ja Hodge 1990, s.563.

³¹⁶ Galilein innovatiivisuudesta ja laajasta instrumenttikaupasta Heilbron, Galileo, 2010, s.99–104.

³¹⁷ Kaukoputki oli yleinen instrumentti 1609, kun Galilei sai sen käsiinsä. Hän ei kirjoituksissaan sano suoraan varsinaisesti keksineensä kaukoputkea, vaan jättää kysymyksen avoimeksi. Galilei teki ”lelusta” havaintoinstrumentin. Galilein ja kaukoputken tarina tunnetaan yleisesti Bertoldt Brechtin näytelmän kautta, jossa kirjailija on muokannut ja yhdistellyt tarinoita omiin yhteiskunnallisiin tarkoituksiinsa sopiviksi. Raimo Lehti, Siderius nunciuss, Galileo Galilei 1999, s.171.

³¹⁸ Thomas Crump, A brief history of science as seen through the development of scientific instruments, 2001, s.69–74.

³¹⁹ Darwinin kirjeenvaihto oli massiivista, ja voidaan sanoa, että imperiumin posti teki Lajien synnyn mahdolliseksi. Kyse on tiedeyhteisön maailmanlaajuisesta verkottumisesta, jota voidaan käsitellä imperialismien erityisenä muotona. Janet Browne, Charles Darwin, Voyaging, 1996. Tiedon verkostoituminen on tärkeä teema luonnontieteen historiassa. Steven Harris, Networks of Travel, Correspondence, and Exchange, (toim. Katharine Park ja Lorraine Daston), s.341–360. Ranskalainen Bruno Latour on vienyt tieteen verkostointi-metaforan äärimmilleen actor–network-teoriassaan. Latourin tieteen toimijat ovat hybridejä eli ne voivat ontologisesti olla hyvin monenlaisia olioita, ei siis ainoastaan tiedemiehiä. Suurissa koelaboratorioissa tieto on hajaantunut niin monelle taholle, että on vaikea enää osoittaa tietoa yhdelle yksilön ansioksi. Bruno Latour, Emme koskaan ole olleet moderneja, 2006.

vään tutkimukseen *Science, Technology and Religion* (1938).³²⁰ Mertonin muita mentoreita olivat mm. sosiologi Talcott Parsons ja luonnontieteen historian comtelainen ”isä” George Sarton. Mertonin työssä oli nähtävissä vaikutteita myös ajan muilta sosiologeilta, kuten Max Weberiltä ja Emile Durkheimilta, sekä marxilaisuudesta.³²¹ Nuoren Mertonin luonnontieteen historian klassikkotutkimus ilmestyi 1938 *Isiksen* luonnontieteen historian temaattisessa *Osi-ris*-vuosikirjassa. Mertonin tutkielma luetaan luonnontieteen historian klassikoksi ja uuden sosiologisen tutkimusotteen aloittajaksi luonnontieteen historiassa.

Luonnontieteen historiaan on jäänyt elämään käsite *merton-teesi*, joka usein tulkitaan yksinkertaisesti uskonnon ja erityisesti protestanttisen eetoksen hedelmöittävästä vaikutuksesta uuden tieteen syntyyn. On tarkempaa puhua Mertonin-teeseistä, koska teesi koostuu kahdesta osasta. Merton vahvisti Hessenin teesin perusväitteen 1600-luvun teknologian ja talouden vaatimusten merkityksestä uuden tieteen syntyyn. Merton ei kuitenkaan tutkinut internalistisen tutkimuksen keskeisintä lähdeaineistoa, tutkijoiden tieteellisiä kirjoituksia, vaan lähestyi luonnontieteen ja yhteiskunnan yhteyttä epäsuorasti. Hän rajasi tutkimuksensa vuosien 1665–1702 välille ja käytti luonnontieteen historian tutkimukseen uusia lähteitä, *Dictionary of National Biography*n elämän kertoja. Mertonin analyysin mukaan uudesta tieteestä oli tullut 1600-luvulla osa herrasmiesten kulttuuria, ja tämän vuoksi Royal Societyn piiriin hakeutui jäseniä runsaasti ”herrasmiesten” yhteiskuntaluokasta.³²² Monet Royal Societyn jäsenistä olivat vakaumukseltaan jonkin lahkon ”puritaaneja”.

Merton ei pitänyt yhteiskunnan ja luonnontieteen suhdetta suoraan kausaalisena. Uuden tieteen synnyn ja yhteiskunnan historiallisen ilmapiirin välinen suhde oli välillinen ”heijastusvaikutus”. Englantilaisessa yhteiskunnassa oli 1600-luvulla henkisiä piirteitä, jotka edesauttoivat modernin luonnontieteen syntyä, mutta ne eivät suoraan synnyttäneet sitä.³²³ Mertonin mukaan 1600-luvulla Euroopassa kehittyi puritaaninen eetos. Juuri tällaista askeettisesti puurtavaa mielenlaatua tarvittiin uudessa tieteessä (intramundane ascetism). Se oli erilaista asketismia kuin keskiaikaisten luostareiden maallisesta pois suuntautunut asketismi (extramundane ascetism). Mertonin mielestä puritaaninen eetos oli englantilaisten herrasmiesten luonnontieteen harrastuksen syy.³²⁴

On huomattava, että Mertonin tulkinta ei välttämättä koskenut internalistista luonnontieteen historian tulkintaa. Luonnontieteen yhteiskunnalta saama tuki saattoi kasvaa Mertonin analyysin mukaisesti, mutta luonnontieteen teorioiden autonomista kehitystä Merton ei pyrkinyt

³²⁰ Jo vuonna 1937 *Isiksessä* Robert K. Merton loi yleiskatsauksen tieteesosologiaan. Siinä näkyy eurooppalaisen sosiologian voimakas vaikutus nuoreen Mertoniiin. Erityisesti sosiologi Karl Mannheim oli ollut artikkelin innoittaja. Robert Merton, *The Sociology of Science*, Isis 1937, s. 493–503

³²¹ Stephen Cole, *Merton’s Contribution to the Sociology of Science*, *Social Studies of Science* 2004/6, s. 837.

³²² Shapin, Isis, 1982, s.262.

³²³ Robert K. Merton, *Science, Technology and Society in Seventeenth Century England* (alkuteos 1938) 1978, sisältää Mertonin uuden esipuheen vuodelta 1970. “The sentiments with which the various Puritan sects were imbued, despite different rationalizations and theological views led to approximately identical implications for social conduct.” Merton 1978, s.58. (Sentiment-termi mainitaan kirjassa seitsemän kertaa; käsitteeseen kiinnitti huomiota alun perin Steven Shapin artikkelissa *The House of Experiment in Seventeenth-Century England*, Isis, 1988.)

³²⁴ Merton 1978, s.64: ”Puritaaninen etiikka vaati osallistumaan maallisiin asioihin.”...”Fysiikka ymmärrettiin Jumalan luomistyön tutkimukseksi ja oli puritaanien vahvasti suosima tutkimusala.” Merton 1978, s. 69. Puritaaniseen eetoksen kuului aina hyödyllisyysperiaate...tietoa tuli aina arvioida sen hyödyllisyyden perusteella” Merton 1978, s. 72.

kiistämään.³²⁵ Sosiologisesti suuntautuneen tieteenhistorioitsija Steven Shapinin mukaan Merton edusti ”black box” -käsitystä tieteestä, jonka mukaan luonnontieteen tutkimusprosessin sisällöstä tieteensosiologialla ei ollut mitään sanottavaa. Internalistiset luonnontieteen historioitsijat saivat yksinoikeuden tämän ”mustan laatikon” sisältöön.

Vaikka Merton itse oli luonnontieteen historian tulkinnoissaan varovainen, silti hänen aloittamaansa tutkimusohjelmaa pidettiin luonnontieteen historian tutkimusyhteisössä vaarallisena. Internalistit puolustautuivat kiivaasti.³²⁶ Internalistien mielestä luonnontieteen tutkimusmotiivi on aina ollut totuuden tavoittelu. Siksi luonnontiede eroaa muista inhimillisistä toiminnoista. Mertonin teesi onkin ollut vuosikymmeniä kiistan kohteena. Sitä on pidetty Hesenin-teesien ohella toisena keskeisenä tekijänä luonnontieteen historian internalismi-eksternalismi-kiistassa. Historiallisen muutoksen selityksinä ”sentiments” ja ”eetos” olivat esimerkiksi internalisti A.R. Hallin mielestä aivan liian väljiä ilmauksia.³²⁷ Newton oli kiinnostunut luonnontieteellisestä ongelmasta, planeettojen ratojen tarkasta kuvauksesta. Samasta tieteellisestä ongelmasta olivat kiinnostuneita katoliset, ateistiset, korpuskularistiset ja kabbalistiset tutkijat.³²⁸ Uskonto eetoksineen on internalistien mielestä luonnontieteen sisäisten tutkimusongelmien kannalta sivuseikka. Merton-teesit saivat suuren merkityksen tieteenhistoriankirjoituksen kehittämisessä, koska ne johtivat historiatieteellisiin tulkintaerimielisyyksiin: millainen on luonnontieteen historian muutosta selittävä sopiva selitys (Hallin mukaan kausaalisesti todistettu), ja mitä tarkoitetaan sosiologisella selittämisellä?

Robert K. Mertonin tutkimustyön ansiosta tieteensosiologialla on ollut toisen maailmansodan jälkeen vankka perusta. Hänen ympärilleen syntyi tieteensosiologinen tutkimusohjelma, joka pyrki laajentamaan tieteensosiologian tutkimuskenttää uusiin luonnontieteen luonnetta valaiseviin teemoihin. Erityisesti Mertonia kiinnosti tieteen eettinen koodisto, joka oli tehnyt luonnontieteestä erikoislaatuisen verrattuna muihin sosiaalisiin instituutioihin. Länsimaisen tieteen taustalta hän katsoi löytyvän erityisen piirteen, eetoksen, jonka komponentit olivat:

1. *Universalismi*: tieteellisten väitteiden arviointi perustuu ei-henkilösidonnaisiin, yleispäteviin kriteereihin.
2. *Tieteellinen kommunismi*: tutkimuksen tulokset ovat julkisia ja tiedeyhteisön kaikkien jäsenten käytettävissä.

³²⁵ Mertonin tutkimus näytti selittävän myös toisen ilmiön: katolisten maiden tieteellisen jälkeenjääneisyyden tieteen 1600-luvulla. Tällaisen tulkinnan Merton kiisti. Mertonin puritaanisuusteesi ei ollut universaali, vaan koski vain Englantia. Näin tutkimus tarkasteli luonnontieteen paikallista muotoa, joka on tyypillistä tieteensosiologialle. Shapin, Isis 1988, s. 608. Tämän johdosta sosiologi Stephen Cole, Mertonin varhainen oppilas, kritisoi Mertonia. Colen mukaan Merton linnoittautui teoriaansa ja puolusti sitä kritiikkiä vastaan koko loppuikänsä. Cole taas olisi edellyttänyt laajempaa tutkimusta, miten eri yhteisöjen tieteen kehitys riippuu näiden yhteisöjen arvojärjestelmistä. Stephen Cole, *Social Studies of Science* 2004, s. 838. Stephen J. Harris on laajentanut merton-problematiikan katolisiin yhteisöihin ja havainnut, Mertonin tapaan, jesuiitoilla samanlaisen positiivisen asenteen luonnontieteeseen, kuin Englannin protestanteilla. Harris, *Networks of Travel, Correspondence and Exchange*, teoksessa eds. Katherine Park ja Lorraine Daston 2006, s.346.

³²⁶ Gary Abraham, *Misunderstanding the Merton Thesis*, Isis 1983, s.377.

³²⁷ “...1600-luvulla tapahtunut aatteellinen muutos on luonteeltaan sellainen, että selitystä siihen on etsittävä aatehistoriasta, niinpä luonnontieteen historia on tiukasti analoginen tieteenala *tieteenfilosofian* kanssa.” (kursiivit LH), A. R. Hall, *Merton Revisited, History of Science* 1963, s.1.

³²⁸ Myös kemisti ja tieteenfilosofi Michael Polanyi painottaa luonnontieteen tutkimuksen piirrettä, jossa luonnontieteen tutkimus on älyllinen intohimo (intellectual passion) harjoittajalleen. Näin luonnontieteen puhdas tutkimusintressi on ensisijainen kaikkiin muihin yhteiskunnallisiin intresseihin verrattuna. Polanyin mukaan piirre esiintyy voimakkaana Galileilla, Keplerillä ja Newtonilla. Michael Polanyi, *Personal Knowledge* 1958, s.134.

3. *Pyyteettömyys*: tieteellistä tietoa etsitään ja esitetään omasta henkilökohtaisesta edusta ja arvovallasta huolimatta.
4. Järjestelmällinen *epäily*: johtopäätösten ja arvioiden lykkääminen, kunnes riittävä empiirinen aineisto antaa niille vankan pohjan.³²⁹

Mertonin tieteellisen eetoksen kuvailu on yleisesti hyväksytty luonnontieteen populaaritulkinnoissa, mutta toisaalta se on myös laajasti kritisoitu ideaalikuvaus tieteestä.³³⁰ Luonnontieteen historiasta löytyy paljon esimerkkejä näiden neljän normin vastaisesta toiminnasta.

Kun Merton jatkoi 1950-luvulla koulukuntansa johdossa tieteensosiologisia tutkimuksia, 1600-luvulla syntynyt tiede näyttäytyi niiden tuloksena myös armottoman kilpailun taistelukenttänä. 1600-luvun tieteestä voidaan löytää edellä mainittuja CUDOS-piirteitä (Communism, Universalism, Disinterested humility, Originality, Scepticism), jotka toimivat ihanteina uuden tiedon levityksessä ja tiedemiesten keskinäisessä verkostoitumisessa. Toisaalta 1600-luvun luonnontiede muistutti myös suuresti kapitalismin armotonta kilpailua markkinoista ja voitoista.

Mertonkin kiinnitti huomionsa tieteen ankaraan kilpailuun keksinnöistä ja kutsui keksinnöistä käytäviä kiistoja *prioriteettikiistoiksi*. Nämä kiistat kuvaavat yhtä luonnontieteen historian keskeistä internalistista piirrettä: tutkijat ja tutkimusryhmät olivat useissa tapauksissa saman, yhteisestä tutkimusperinteestä nousevan ongelman kimpussa samantapaisilla koetekniikoilla, samanlaisilla empiirisillä materiaaleilla ja samanlaisilla käsitteellisillä työkaluilla. Niinpä ”keksinnöt” tehtiin monella taholla, usein lähes samanaikaisesti. Nämä niin sanotut multippelikeksinnöt olivat tärkeitä osoituksia luonnontieteen *yhteisöllisestä* luonteesta ja yhä lisääntyvästä tiedon verkostoitumisesta.³³¹ Multippelikeksinnöt antoivat luonnontieteen historian nerotulkinnalle rajat: tieteen keksinnöt eivät synny tyhjästä, neron päässä heuristisina ”omena putoaa” -oivalluksina. Vaikka keksinnöt syntyivät usein lähes samanaikaisesti, kunnia ja maine annetaan ensimmäiseksi ehtineelle, historiassa neron kategoriaan korotetulle.³³²

³²⁹ Kiikeri ja Ylikoski 2004, s. 111.

³³⁰ John Ziman toteaa kirjassaan *Real Science, What it is and what it means* 2000, että näitä sääntöjä on rikottu ja rikotaan jatkuvasti. Lisäksi luonnontieteen painopiste ei enää ollut yliopistojen akateeminen tiede, vaan tiede oli kietoutunut yhteen talouselämän ja sotateollisuuden kanssa. Tämän postakateemisen yhteisön luonnontieteen eettinen koodisto on toisenlainen kuin akateemisen.

³³¹ Augustine Brannigan ja Richard Wanner liittävät multippelikeksinnöt erityisesti 1600-luvun yleiseen henkeen ja jaettuun tietoon artikkelissaan *Historical Distributions of Multiple Discoveries and Theories of Scientific Change*, *Social Studies of Science* 1983. 1600-luvulla kiistat keksinnöistä johtivat moniin älyllisiin kaksintaisteluihin. Parhaiten tunnetut episodit olivat Tyko Brahen ja Nicholas Ursuksen kiista tykolaisen maailmanjärjestelmän keksimisestä, Galilein kiistat useiden jesuiittaisten kanssa, Leibnizin kiista Robert Hooken kanssa matemaattisten sarjojen interpoloinnista, Newtonin kiista Leibnizin kanssa sekä planeettaliikkeistä että kalkyylin keksimisestä, ja Hooken kiista Huyghensin kanssa heilurikellon keksimisestä. Newton ja Hooke taas kiistelivät katkerasti gravitaatioperiaatteen keksimisestä. Giuliano Pancaldini, *Priority*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 676.

³³² Mertonin koulukunnan tunnetuimpia tutkimuskohteita on ollut ilmiö ”Matteus-vaikutus”. Akateemisessa maailmassa tunnetuille tutkijoille jaetaan erityisen paljon rahaa, tunnustuksia ja palkintoja, eli ”ne, joilla jo on, niille annetaan yhä enemmän”. Tulkinta koskee myös prioriteettikiistoja. Yleensä tunnettu tutkija saa keksinnön nimensä. Merton julkaisi aiheesta tutkimuksen vuonna 1988 (*The Matthew Effect in Science II and the Cumulative Advantage Symbolism of Intellectual property*, Isis 1988). Artikkelin on Isiksen eniten viitattu artikkeli.

4.2.4 TIETEEN VALLANKUMOUKSEN IRRATIONAALINEN TAUSTA

Eksternalistisen luonnontieteen historian tutkimusperinne voimistui edelleen 1960-luvulla. Tieteen vallankumouksen synnystä alettiin laatia yhä tarkempaa kokovartalokuvaa. 1800-luvulta lähtien tunnettiin 1600-luvun tieteen ”nerojojen” viehtymys salatieteisiin eli ns. esoteeriseen kirjallisuuteen.³³³ Frances Yates tutki Warburg-Instituutissa Lontoossa tieteen vallankumoukseen liittyviä esoteerisia virtauksia. Hänen kaksi uraauurtavaa tutkimustaan olivat *Giordano Bruno and the Hermetic tradition* (1964) sekä *The Rosicrucian Enlightenment* (1972). Yates aloitti uuden suuntauksen luonnontieteen historiassa: hän teki modernin tieteen sankareista myös ”humpuukin” harrastajia. Yates väitti, että hermeettisen tradition leviäminen oli syy uuden tieteen syntyyn, erityisesti kopernikanismin ja äärettömän maailmankaikkeuden idean leviämiseen.³³⁴

Uuden tieteen tavaramerkkinä oli pidetty rationaalisuutta. Luonnontieteen selitysten tuli olla kausaalisia tai ilmiöiden kuvausten matemaattisia funktiosuhteita. Keskiaikaiselle luonnontieteelle tyypilliset, nyt epätieteelliseksi katsotut ilmiöiden selitykset, kuten salaiset periaatit tai kvaliteetit, oli karkotettu tieteestä.³³⁵ Newtonin *Principiassa* (1687) ja *Opticksissa* (1704) oli irrallisia käsitteitä ja lauseita, jotka mahdollisesti viittasivat 1600-luvun salatieteisiin. Kun Newtonin valtavaa käsikirjoitusmassaa alettiin 1960-luvulla purkaa ja julkaista, huomattiin, että hän oli kirjoittanut huomattavasti enemmän alkemiasta ja teologiasta kuin luonnontieteestä.³³⁶ Positivistisen luonnontieteen sankarin esoteerinen puoli alkoi paljastua.³³⁷ Esoteerisen

³³³ Hermeettisellä Corpusella tarkoitetaan renessanssiaikana Bysantista Eurooppaan saatuja ja latinaksi käännettyjä salatieteellisiä kirjoituksia, joiden alkuperän ajateltiin olevan muinaisessa Egyptissä. Todellisuudessa ne olivat hellenistiseltä ajalta. Pääasiassa ne käsitelivät vanhaa teologiaa (*prisca theologia*). Hermeettinen Corpus sisälsi myös kirjoituksia mikro- ja makrokosmoksen vuorovaikutuksesta ja niistä tuli tärkeitä lähteitä alkemisteille ja astrologeille. Myöhemmin hermetismiin liitettiin kaksi muuta traditiota: uusplatonismi ja luonnonmagia. Rachel Laudan, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s.363–364. Yates tutki vain hermetismin teoreettista, spirituaalista puolta. Brian Copenhaverin mukaan hermetismin käytännöllinen puoli, joka käsiteli alkemiaa, astrologiaa, astronomiaa, botaniikkaa, magiaa, lääketiedettä ja rohtoja, vaikutti vielä enemmän uuden tieteen syntyyn. Brian Copenhaver, teoksessa toim. Katherine Park ja Lorraine Daston 2006, s.521.

³³⁴ Frances Yates, *Giordano Bruno and Hermetic Tradition*, 2009 (alkuteos 1964), s.170–175.

³³⁵ Aristoteellisessa järjestelmässä kvaliteetit vastakohtapareina olivat tärkeitä muutoksen selityksiperusteita. Kosteus ja kuivuus, kylmyys ja kuumuus olivat aistittavia kvaliteetteja. Osa kvaliteeteista, esim. raskaus (graviteetti) ovat aistien tavoittamattomissa. 1600-luvulla kritisoitiin voimakkaasti näitä aistien tavoittamattomissa olevia kvaliteetteja eli ”occultteja kvaliteetteja”. Katso Patricia Fara 2009, s. 31–35. Descartesin korpuskularismissa kaikki muutokset selitettiin erilaisten materioiden liikkeenä, ja näin salaisesta kvaliteeteista oli päästy eroon. Newtonin gravitaatio oli taas uusi ”salainen” syy, jolle ei ollut mekaanista, kartesiolaista lähikosketuskausaaliselitystä. Brian P. Copenhaver, *Magic*, teoksessa toim. Katherine Park ja Lorraine Daston 2006, s. 524.

³³⁶ Positivistinen filosofia näki hermetismin, luonnonmagian ja uusplatonismin uuden tieteen synnyn esteeksi. Nykyisin ajatellaan, että traditiot sekoituivat toisiinsa ja tukivat toisiaan. Esoteerinen ja luonnontieteellinen tutkimus sekoituivat myös monien tieteen vallankumouksen tiedemiesten työssä. Hermetismi oli aina yksityistä ja salaista. Uutta tiedettä taas leimasi nopea ja mahdollisimman laaja julkisuus ja uusien julkisuuskanavien nopea käyttö. Rachel Laudan, *History of Science*, teoksessa toim. Heilbron 2003, s. 364; B.T.S.Dobbs, *The foundation of Newtons alchemy* 1975, Karin Figala, *Isaac Newton as Alchemist*, *History of Science* 1975 ja Richard Westfall, *Never at Rest* 1982. Dobbsin analyysin mukaan Newtonin Principian voimatulkinnossa näkyy suoraan hänen alkemiallinen tutkimusprojektinsa. Kansantajuinen valikoima alkemiallisia kirjoituksia opetukseen löytyy Stanton J. Lindeniltä, *The Alchemy reader*. From *Hermes Trismegistus* to Isaac Newton 2003. Kirjan lopussa on kätevä lyhyt alkemian sanakirja.

³³⁷ Internalistisessa kirjallisuudessa Principiaa luonnehditaan voimakkain adjektivein ja teosta voidaan pitää internalismin keskeisimpänä teoksena, esimerkiksi *The Britannica Guide to The Most influential Scientists* (2010) kuvaa Newtonin Principiaa ”käänteentekeväksi” (s.88) ja *Oxford Companion to the History of Modern Science*, (teoksessa toim. J. Heilbron 2003), antaa Principialle 20 hakusanaa (s.914) eli enemmän kuin millekään muulle ”keksinnölle.”

aineiston löytyminen oli särö internalistiseen rationalistiseen luonnontieteen historian tulkin-taan. Irrationaalisten piirteiden häviäminen nähtiin luonnontieteen erityispiirteeksi, joka erotti sen muista aatehistoriallisista virtauksista. Alkemia ja astrologia haluttiin nyt sisällyttää osaksi tieteen vallankumouksen kokonaiskertomusta. Aikaisempi whig-tulkinta historiasta oli rajannut ne pois, koska ne edustivat pseudotieteitä.³³⁸

Kun internalistinen tieteenhistorioitsija Robert Westfall julkaisi 1982 kiitetyn ja palkitun Newton elämäkerran *Never at Rest*, hän sisällytti biografiaan pitkän analyysin Newtonin alkemiallisesta tutkimuksesta. Hän ei kuitenkaan katsonut niillä olleen merkitystä *Principian* synnylle, vaikka *Principiassa* onkin peitettyjä viittauksia näihin salatieteellisiin tutkimuksiin. Esoteeristen tutkimusten asiantuntija Mary Teeter Dobbs, joka oli Newtonin alkemian asiantuntija, on eri mieltä. Hänen mukaansa Newtonin tieteellinen ajattelu oli totaliteetti.³³⁹ Newtonin metafyyminen ajattelu oli rikasta, ja siihen kuuluivat keskeisenä spekulaatiot kosmoksessa vaikuttavista voimista. *Principia* oli osa tätä laajaa projektia. Sen keskeinen käsite oli universaali vetovoima, gravitaatio, joka oli Newtonin mielestä selitettävissä vain Jumalan suorana sekaantumisenä maailmankaikkeuden asioihin. Vuorovaikutusta valtavien matkojen päästä ei voitu selittää millään mekanismilla.

Newtonin alkemiassa ja teologiassa oli kyse salaisesta harrastuksesta. Esoteerisilla tutkimuksilla ei varsinaisesti ollut sijaa *Principian* todisteluosuudessa ja sen julkaisukontekstissa. Alkemia oli salatiedettä ja sen perusta oli mystiikassa, kun taas julkisuus teki uudesta tieteestä voimakkaasti kehittyvän tietojärjestelmän. Alkemiallista kirjallisuutta julkaistiin 1600-luvulla, mutta se suljettiin luonnontieteen tihentävän tietoverkoston ulkopuolelle, ja 1700-luvulla se alkoi selvästi näivettyä. Luonnontieteen historian esoteerinen tutkimus osoitti kuitenkin, että uuden tieteen synnyssä oli taustalla myös irrationaalisia elementtejä.³⁴⁰

Esoteeristen virtausten tutkimukset liittävät Newtonin kiinteästi omaan aikaansa. Brahe, Kepler, Bruno, More ja Boyle olivat kaikki innokkaita salatieteiden harrastajia. Newton ei ollut puhdas ”uuden tieteen” nero ja edellä aikaansa, kuten ei ollut myöskään Galileo Galilei. Tämä piirre tekee luonnontieteen sankareista inhimillisiä ja rajaa heidän tieteellisen keksimiskontekstin inhimillisiin mittoihin. Eksternalistinen näkökulma oli osoittanut, että tutkija on aina

Hakusana Newton tuottaa monikertaisen määrän viittauksia n.100 (s.912). Opetuksessa on aina annettava tietty henkilö-, käsite- ja keksintögalleria. Niitä joudutaan myös arvottamaan opetuskuvauksessa. Koyrélainen henkilöhistoria painottaa ideoita, teorioita ja niiden rakenteita ja ideoiden opettamista pidetään ensisijaisena henkilöhistorian suhteen. John Gribbinin (*The Britannica Guide to The Most Influential Scientists* 2008, s. xi-xvi) mukaan *Principian* kaltaiset käänteentekevät synteetit paljastuvat historiallisessa analyysissä koko tiedeyhteisön keksinnöiksi, osaset synteeseihin löytyvät edeltäjiltä ja aikalaisilta, sovellutukset ja parannukset seuraajilta. Hyvä internalistinen analyysi johtaa myös luonnontieteen historian sosiaalisuuden painottamiseen. Sosiaalishistorian tutkijat kuitenkin muistuttavat, että Newton ja *Principia* ovat myös luonnontieteen historian rakennettuja myyttejä, joihin tulee aina suhtautua varauksellisesti. Patricia Fara, *Newton: The Making of Genius*, 2003.

³³⁸ Allen Debus’n ja William Ashworthin artikkelit kirjassa *The Scientific Revolution, the Essential Readership*, teoksessa toim. Hellyer 2003, esittelee tätä laajennusosaa tieteen vallankumouksen kokonaiskuvaan. Erityisesti Marcus Hellyerin johdanto Debus’n artikkeliin, s.157–158.

³³⁹ Betty Jo Teeter Dobbs, *The Foundation of Newtons Alchemy*, 1978.

³⁴⁰ William R. Newman, *From Alchemy to “Chymistry”*, teoksessa toim. Katherine Park ja Lorraine Daston 2006, s. 498. Alkemia tulkitaan nykyisin olleen monipuolinen ja kehittyvä tiedonala: ”Additionally, alchemy had significantly influenced the growth of experimental corpuscular theory and emphasis on experiment more generally...The once common claim that alchemy was irrational delusion inimical to the main themes of the Scientific Revolution and restricted to the margins of European culture can no more maintained.” Newman 2006, s. 517.

osa ajan tiedeyhteisöä ja jakaa tiedeyhteisön yhteisen maailmankuvan. Lisäksi käsite ”tieteen vallankumous” liitettiin nyt myös ajan uskonnollisiin liikkeisiin ja teknologiaan.

4.2.5 KUHNIN PARADIGMA-TEESI JA SEN VASTAANOTTO

”Tämä on tärkeä kirja... sen vaikutukset tulevat olemaan kauskantoiset”, kirjoitti luonnontieteen historioitsija ja tieteenfilosofi Mary Hessen enteellisesti *Isiksessä* kirja-arvostelussaan Thomas Kuhnin kirjasta *The Structure of Scientific Revolutions* vuonna 1963.³⁴¹ Thomas Kuhnin kirjan pääidea oli luonnontieteen historian valtavirtausta vastaan. Hän yritti hahmottaa luonnontieteen historian muutoksen keskeiset piirteet universaalisti eli vastata kysymyksen, miten luonnontieteen teoriat ja maailmankuvat muuttuvat. Samanlaisen kokonaisvaltaisen tehtävän eteen joutuu käytännössä opettaja tai opetusmateriaalin kehittäjä. Näiden pyrkimysten samankaltaisuus onkin tehnyt Kuhnin tieteenfilosofisesta kirjasta myös luonnontieteen opetuksen ja opetuskokeilujen avainteoksen.

Yhdysvaltalainen Thomas Kuhn (1920–1996) on ollut keskeinen henkilö luonnontieteen historian vaikutuksen leviämiseen eri tieteenaloille. Kirja *The Structure of Scientific Revolutions* (1962) on käännetty kuudelletoista kielelle (myös suomeksi), ja sitä on myyty yli miljoona kappaletta, mikä on luonnontieteenhistoriaa käsittelevälle kirjalle ainutlaatuisen paljon. Sen akateemisesta merkityksestä kertoo, että se on ollut Michael R. Matthewsinkin mukaan vuosien 1976–1983 välillä kaikkein eniten viitattu tieteellinen teos maailmassa.³⁴²

Thomas Kuhnin kirja on luonnontieteen historianopetuksen kannalta keskeinen.³⁴³ Sitä voi käyttää kaikkien kolmen opetuksen kehittämissä lähtökohtana: internalismin³⁴⁴, eksternalismin³⁴⁵ ja myös henkilöhistorian lähtökohtana. Kirja tekee ymmärrettäväksi ristiriidat, jotka vaivaavat luonnontieteen opetuksen kehittämistä. Lisäksi Kuhn antaa kertomuksellisesti hyvin dramaattisen lähtökohdan opettamiseen: luonnontieteen muutokset merkitsevät totaalista muutosta tiedemiesten maailmankuvissa, heidän tavassaan hahmottaa maailmaa ja selittää

³⁴¹ Mary Hesse, *Isis* 1963, s. 286

³⁴² Michael Matthews, 2004, s. 91. Matthewsinkin lähteenä on Arts and Humanities Citation Index. Luonnontieteen historian tutkijat harvoin viittaavat Tieteen vallankumous -kirjaan, koska se luonteeltaan spekulatiivinen.

³⁴³ J.L. Heilbronin pitää Kuhnin kirjaa loistavana luonnontieteen historian opetuskirjana artikkelissa *Applied History of Science*, *Isis* 1987, s. 554. Hänen mielestään kirjan tulkinta oli kuitenkin jo tuolloin (1987) vanhentunut: ”Structure does not take sufficiently into account the effects of haste and gigantism of recent science.” Heilbron 1987, s.554.

³⁴⁴ Luonnontieteen historioitsija Hasok Chang korostaa Kuhnin merkitystä HPS-opetuksen lähtökohtana. Kuhnin kirja avasi hänelle tieteellisten käsitejärjestelmien merkityksen opetuksessa. Chang 1999, s.415. Chang korostaa, että opetuksessa ei ole kyse historiallisesta internalistisesta tutkimuksesta, vaan historiallisesta tiedosta, jolla on merkitystä nykyisyyden kannalta. Ibidem, s. 421. Thomas Nicklesin mukaan historioitsijana Kuhn oli aatehistoriallinen internalisti, joka halusi päästä tutkimiansa suurmiesten ”pään sisään”. Thomas Nickles, Thomas Kuhn, teoksessa *toim. Nickles 2002*, s.11.

³⁴⁵ Luonnontieteen historioitsija Robert Westmanin mukaan Kuhnin vallankumouskirjat (Westman viittaa myös Kuhnin aiempaan, 1957 julkaistuun kopernikaanista vallankumousta käsittelevään kirjaan) eivät olleet varsinaista luonnontieteen historian tutkimuskirjallisuutta. Niiden merkitys on juuri opetuksessa. Westman, *The Two Cultures or One, A Second Look to the Kuhn’s Copernican Revolution*, *Isis* 1994, s.114. Kuhnin spekulatiiviset työt avasivat luonnontieteeseen uusia näkökulmia: ”...science authority arose from its constitution as a special sort of community engaged in tacit practices, social contracts, and agreed-upon meanings.” Westman 1994, s.116. Hän toi merkittävän laajennuksen eksternalistiseen näkökulmaa ja häntä on siten pidetty tavallaan myös luonnontieteen historian postmodernin tulkinnan aloittajana. Nickles, teoksessa *toim. Nickles 2002*, s. 5.

ilmiöitä. Tällaista kertomusta on helppo käyttää opetuksessa.³⁴⁶ Edelleen kirja avaa tärkeän sosiaalisen näkökulman luonnontieteen koulutukseen³⁴⁷ ja luonnontieteen historian opetus-käyttöön.³⁴⁸ Se on lisäksi vaikuttanut suuresti luonnontieteen opetuskokeiluihin.³⁴⁹

Kuhnin ajattelusta ei muodostu monoliittista, loogista järjestelmää. Luonnontieteen historioitsija J. Heilbron kutsuukin häntä tutkijalaadultaan ”impressionistiksi”.³⁵⁰ Tieteenfilosofisesti Kuhnin vallankumousteoriassa ei ollut yhtään aidosti uutta elementtiä. Kuhn sisällytti kirjaansa tieteenfilosofiassa kehitettyjä oivalluksia, joita olivat esittäneet aiemmin tieteen sosiologian uranuurtaja Ludwig Fleck, tieteenfilosofi Gaston Bachelard, historianfilosofi R.G. Collingwood, sekä tieteenfilosofit Willard Orman Quine, Michael Polanyi, Norwood Russell Hanson ja Paul Feyerabend. Näiden tutkijoiden ideat löytyvät synteessinä Kuhnilta. Kuhnin luonnontieteen historiallinen tuotanto oli laaja; kuitenkin hänen tuotannostaan tunnetaan usein vain *Tieteellisten vallankumousten rakenne*, joka on luonteeltaan filosofinen eikä historiallinen.³⁵¹

Thomas Kuhn oli alun perin fyysikko, ja hän osallistui toisen maailmansodan aikana Yhdysvaltain varusteluprojektiin. Sodan jälkeen hän osallistui luonnontieteilijöille luonnontieteen historian opetuksen suunnitteluun ja myös luonnontieteen historian opettamiseen. Tämä *pedagoginen juonne* näkyy *Tieteellisten vallankumousten rakenne* -kirjan sisällössä. Kirjan lähtökohtana on luonnontieteen historian opettamisen keskeinen teema, nimittäin ”ihmetys”, jonka nuori fyysikko Thomas Kuhn koki aristoteelisen luonnontieteen filosofisen järjestelmän edessä.³⁵² Jokainen luonnontieteen historian opiskelija ja opettaja on joutunut kysymään saman kuhnilaisen kysymyksen opiskelunsa aikana: miten aristoteelinen luonnontieteen filosofia liittyy nykyfysiikkaan? Kuhn kertoo kokeneensa voimakkaan heuristisen elämyksen tajutessaan, että Aristoteleen opit luonnontieteen filosofista olivat täysin järkeviä, kun niitä tarkastellaan aristoteelisen järjestelmän sisällä.³⁵³ Tämä Kuhnin kuvaama peruskokemus on koko luonnontieteen historian opiskelun ydinkokemus: nähdä asiat *toisen käsitejärjestelmän näkökulmasta*. Tämä on myös perusidea HPS-opetuksessa: ymmärtää toisenlaisia (alternative) käsitteellisiä järjestelmiä, niiden tapoja hahmottaa todellisuutta ja niiden metafysisiä lähtökohtia. Tällainen

³⁴⁶ Tämän tehokkaan kertomuksen Kuhn peri Burttilta, Butterfieldiltä ja Koyréltä.

³⁴⁷ Nancy Nersessianin, joka on tutkinut oppimista, mukaan opetuksen Kuhn-sovellus (kognitiivis-historiallinen) perustuu kontinuumiteesiin (vrt. Monk ja Osbornen 1997 esittämään paralleeliteesiin): luonnontieteen historian kehityksen ja yksilön ongelmanratkaisukyvyin välillä ovat samankaltaisuutta. Kuhn, *Conceptual Change and Cognitive Science*, teoksessa toim. Nickles 2002, s.179.

³⁴⁸ Vasso Kindi, *Should Science Teaching Involve the History of Science? An Assessment of Kuhn's View*, *Science & Education* 2005, s.721–731.

³⁴⁹ Michael Matthews mukaan erityisesti seuraavat kuhnilaiset teemat ovat olleet opetustutkimuksen kohteina: paradigmat, käsitteemuutokset, konstruktivistinen tietoteoria, yhteismitattomuus, luonnontieteen oppikirjojen autenttisuus, luonnontieteen sosiaalinen komponentti, sekä vertailututkimukset Kuhnin ja muiden tieteenfilosofien luonnontieteen tutkimuskäsitysten välillä. Matthews, *Science Education* 2004, s. 96.

³⁵⁰ Kuhnin näkemykset ovat ”luonnosmaisia, hämmentäviä ja haastavia”. Heilbron, *Isis* 1998, s.515.

³⁵¹ Kuhnin historiallinen tuotanto käsittelee Robert Boylea, Nikolaus Kopernikusta, tekniikan historiaa, keksintöjen samanaikaisuutta ja kvanttimekaniikkaa. Stephen Brush, *Thomas Kuhn as a Historian of Science*, *Science & Education* 2000, s. 39–53.

³⁵² Thomas Kuhn, *Essential Tension*, 1977, s. xiii. Tämän peruskokemuksen merkitystä nuoren luonnontieteen historian tutkija ajatteluun korostaa erityisesti Jensine Andresen artikkelissa *Kuhn and Crises*, *Isis* 1999, s. 55.

³⁵³ Val Dusek, *Philosophy of Technology, An Introduction* 2004, s.12. Thomas Nickles, teoksessa toim. Nickles 2002, s.144.

”elämyksellinen oivallus” syntyy vasta, kun toinen käsitejärjestelmä opetetaan niin perusteellisesti, että sen sisäinen logiikka alkaa hahmottua.³⁵⁴

Kuhnin vallankumouskirja syntyi internalistisen luonnontieteen historian perinteen pohjalta. Luonnontieteen historiasta kirja käsitteli pitkälti koyrélais-butterfieldiläistä teemaa, suurta tieteellisen maailmankuvan murrosta. Sekä luonnontieteen historiasta kirjoittanut Herbert Butterfield³⁵⁵ että Alexandre Koyré ajattelivat historian virtaa jatkumona, jossa ei ollut täydellisiä katkoksia. Koyré’n mielestä historian ajanvirta kulki luonnontieteen historiassa kohti ”totuutta”. Tämän jatkumon historioitsija voi hahmottaa tutkimuksissaan. Molempien historioitsijoiden mielestä luonnontieteen edistyminen on rationaalinen prosessi. Vaikka luonnontieteen historian muutos oli näennäisesti katkos tieteellisessä ajattelussa, muutos oli myös evoluutiota, koska se nojautui aina perinteeseen. Historioitsija itse luo kuvan muutoksesta käsittelemällä pitkiä aikaperiodeja. Brendan Larvorin mukaan Kuhn omaksui esikuviltaan historistisen kuvausmetodin, mutta toisaalta Kuhn rikkoi heidän käsityksiään tekemällä vallankumouksista katkoksia historian virtaan sekä käsittelemällä aatehistoriaa sosiaalishistorianna. Näin Kuhn hylkäsi lähtökohtansa, internalistisen aatehistoriallisen perinteen.³⁵⁶

Tärkein luonnontiedettä kuvaava termi Kuhnilla on käsite ”paradigma”. Paradigma tarkoittaa väljästi määriteltynä kypsän tieteenalan tapaa ratkoa sille tyypillisiä ongelmia.³⁵⁷ Esimerkiksi luonnontieteen 1600-luvun vallankumouksessa vakiintui luonnontieteeseen newtonistinen paradigma. Kuhn ei määritellyt tarkasti paradigmaa, vaan sillä oli kirjassa monia merkityksiä: se määrittelee ongelmat, metafyyssisen käsitteistön, instrumentit, koejärjestelyt, tieteen julkaisukäytännöt jne. Paradigmaa on vaikea määritellä, sillä se sisältää paljon ns. ”hiljaista tietoa”.³⁵⁸ C. Greiffenhagenin ja Wendy Shermanin luonnehdinta paradigmasta on osuva: ”Kuhnin paradigman mukaan oleellinen seikka ei olekaan siinä, mitä on tiedemiesten päässä, vaan mitä on heidän ’*käsissään*’”.³⁵⁹ Tämä määrittelemätön tiedon komponentti antoi naturalistisesti tiedettä tutkiville tutkijoille ja myös luonnontieteen opetuksen tutkijoille uuden lähtökohdan. Luonnontieteen ”määrittelemättömään” osaan kasvetaan yhteisöllisesti. Myös positivistisen tradition objektiivinen luonnontutkija sosiaalistuu paradigmaansa. Hän imee

³⁵⁴ Tämä vuoksi tieteenfilosofisella HPS-opetuskirjallisuudella (yleiskuvakirja-analyysi, luku 3.2.2) on opetuksessa tärkeä tehtävä.

³⁵⁵ Herbert Butterfield oli, Koyré’n lisäksi, Thomas Kuhnin toinen historioitsijaesikuva. Hänen 1949 julkaistu teoksensa *The Origins of Modern Science 1300–1800* oli kansantajuinen tulkinta koyrélaisesta ajattelusta. Se on ollut kaikista tieteen vallankumousta käsittelevistä historiallisista kuvauksista, yhdessä A.R. Hallin vallankumousteoksen, levinnein. ”A. R. Hall, like Butterfield, is a very well known historian of science, having authored standard textbooks in the field.” Regis Gabral, Herbert Butterfield (1900–1979) as a Christian Historian of Science, *Studies in the History and Philosophy of Science* 1996, s.548.

³⁵⁶ Brendan Larvor, Why did Kuhn’s Structure of scientific revolutions cause a fuss? *Studies in History and Philosophy of Science* 2003, s. 388.

³⁵⁷ Tiede on ikään kuin ”älyllisten pähkinöiden ratkaisua” (puzzle-solving); Kuhn 1996, s.35. Myös Kiikeri ja Ylikoski 2004, s. 61. Kuhn yritti myöhemmin tarkentaa käsitettään. Kirjansa vuoden 1969 painoksessa Kuhn korostaa *käytännöllisten esimerkkien* (exemplars) merkitystä normaalitieteessä. Myöhemmin Kuhn vielä erotti kaksi erilaista paradigman muotoa: eksemplaarit (exemplars), jotka olivat esimerkkejä hyvästä tieteellisestä toiminnasta ja teoriasta, sekä oppialamatriisit (exemplar matrix), jotka taas olivat tutkimusyhteisön jakamia metafyyssisiä uskomusjärjestelmiä, Kuhn 1996, s. 187.

³⁵⁸ Kuhn 1969 (1996), s.44. Hiljainen tieto on yhteisöjen käytännöissä, eikä sitä ei ole eksplisiittisesti ilmaistu kirjoissa tai opetuksessa. Ludwig Wittgensteinin myöhäisfilosofiasta ja Michael Polanyiltä löydetään jo aiemmin sama idea. Thomas Nickles, teoksessa toim. Nickles 2002, s.150.

³⁵⁹ C. Greiffenhagen ja Wendy Sherman, Kuhn and conceptual change: on the analogy between conceptual changes in science and children, *Science and Education* 2007, s.6.

itseensä tietoa, joka ei näy tutkimusmuistiinpanoissa tai julkaistuissa artikkeleissa. Luonnontieteen noviisi oppii ammattilaiseksi huomaamatta, käytännön kautta. Tämän vuoksi luonnontiedettä on vaikea opettaa varsinaisen ”tekemisen” ulkopuolella.

Jos Kuhnin päätelmät olisivat tosia, niillä olisi vakavia seurauksia opetukseen. Koulussa opettava luonnontiede ei voisi simuloida autenttista luonnontiedettä, koska siitä puuttuu ”hiljainen tieto” ja ”käden tekeminen” aidossa tutkimusmielessä. Koulutieteessä ei myöskään ratkota paradigmasta nousevia aitoja tutkimusongelmia vaan opettajan antamia irrallisia tehtäviä sekä suoritetaan ennalta onnistumaan määrättyjä kokeita. Sama päätelmä koskee myös esimerkiksi vaikkapa historiaa, jossa ei myöskään voida opettaa autenttista tutkimusta. Mikä merkitys on luonnontieteellisillä demonstraatioilla tai vastaavasti dokumenteilla historian opetuksessa, jos ne eivät anna opiskelijalle autenttista käsitystä tieteellisestä tutkimuksesta? Niiden tehtävä on yhteiskunnallinen: ne vakuuttavat opiskelijat luonnontieteen voimasta. Siksi ne ovatkin perimmiltään vallankäyttöä. Tieteensosiologia sai Thomas Kuhnista tärkeän tutkimusnäkökulman luonnontieteen historiaan. Perinteisessä positivistisessa perustuvassa luonnontieteen tulkinnassa opiskelijat koulutetaan metodiin, rationaalisuuteen ja kriittisyyteen.

Thomas Kuhnin kirjasta löytyy lähtökohta *moderni* vastaan *postmoderni* -kiistalle luonnontieteen opetuksessa. Luonnontieteen oppikirjoissa esitetyn historian tehtävä on Kuhnin mukaan legitimoida tieteen vallankumous ja tarjota opiskelijoille motivaatiota tiedemiesesikuvien muodossa.³⁶⁰ Vasso Kindin mukaan Kuhnin havainto on oikea, ja siksi luonnontieteen historian paikka opettamisessa on opetuksen yleisellä, humanistisella puolella, jossa tiede voidaan liittää laajemmin yhteiskunnalliseen kontekstiinsa. Tällöin luonnontieteen historian eksternalistinen puoli tulisi automaattisesti mukaan opettamiseen. Luonnontieteen opetuksessa luonnontieteen historia on Kindin mukaan usein vain ornamentti. Luonnontieteen historiaa voitaisiin hyvin opettaa omana aineena, jolloin tiede, laajempaan kuin luonnontiede, ja yhteiskunta yhdistyisivät luontevalla tavalla.³⁶¹

Paradigmakäsitteen ohella toinen keskeinen käsite Kuhnin kirjassa on tieteessä tapahtuvat vallankumoukset. Kuhnin mukaan on aikoja, jolloin paradigma (normaalitiede) joutuu kriisiin. Tämä johtuu siitä, että on kertynyt havaintoja, joita ei voida selittää vallitsevan paradigman käsitteistöllä.³⁶² Orman Willard Quinen mukaan paradigma kestää hyvin näitä ilmiöitä ja ne voidaan selittää aputeorioilla (esim. ptolemaiolaisen järjestelmän erilaiset matemaattiset apuneuvot).³⁶³ Paradigma vaihtuu, vasta kun uusi tulkinta on valmiina.³⁶⁴ Vallitsevan para-

³⁶⁰ Kuhn 1969 (1996), s. 137–138.

³⁶¹ Vasso Kindi, Should Science Teaching Involve the History of Science? An Assessment of Kuhn's View, Science & Education 2005.

³⁶² Kuhn 1969 (1996), s. 52.

³⁶³ Thomas Kuhnin työn taustalla on Duhem–Quine-teesi, joka asettaa erilaiset selitysjärjestelmät tasa-arvoiseen asemaan. Empiirisen todistusaineiston perusteella emme pysty todistamaan tai kumoamaan jotain hypoteesia. Ei ole mitään ratkaisevaa havaintoa, joka osoittaisi jonkin teorian vääräksi. Teesistä on kaksi muotoa: 1. Heikko teesi (Pierre Duhem), jonka mukaan ”Tieteellinen koe (tai havainto) ei milloinkaan yksin ratkaise yksittäisen hypoteesin kohtaloa, vaan hypoteesi kohtaa aina havainnot yhdessä joidenkin apuhypoteesien kanssa...jos jokin koe osoittaa, että teorianamme on väärä, voimme ainoastaan päätellä, että hypoteesijoukossamme on jokin vialla, mutta emme, mikä tai mitkä ovat vialla...”. 2. Vahvempi teesi (Quine), jonka mukaan ”periaatteessa riittävän jääräpäinen henkilö voi pitää kiinni mistä tahansa väitelauseesta ja pelastaa sen kumoamiselta tekemällä aina sopivia havaintoja uskomuksiinsa. Logiikka ja havainnot eivät koskaan riitä pakottamaan häntä luopumaan väittämästään.” Kiikeri ja Ylikoski 2004, s. 33–35. Näin mitään selitysjärjestelmää ei voi asettaa rationaalisuuden suhteen etusijalle. Koetekniikat ja

digman tutkijat eivät kykene kääntymään uuteen tulkintaan vaan vastustavat muutosta. Vasta kun tutkijapolvi on vaihtunut ja vanha polvi kammettu vallasta, paradigma vaihtuu. Vallankumouksen seurauksena koko tiedeyhteisön tapa tulkita tiedettä muuttuu.³⁶⁵ Tieteen teorianmuutokseen liittyy siis aina myös *vallankäyttöä*. Teorianmuutos ei olekaan puhtaasti rationaalinen prosessi. Tieteensosiologit ovatkin alkaneet tutkia tieteellisten teorioiden muutoksia valtataisteluna ja retorisina vakuuttelutilanteina, jotka eivät välttämättä sisällä mitään ”edis-tykseen” tai ”totuuteen” liittyvää elementtiä.

Iper Demirin analyysi selvittää Kuhnin ristiriitaista ajattelua. Demirin mukaan Kuhn käyttää teoksessaan paradigmanmuutoksessa sekaisin kahta kontekstia: luonnontieteen toimijoiden (actors) kontekstia ja luonnontieteen historioitsijoiden (analysts) kontekstia.³⁶⁶ Luonnontieteen maailmankuvallinen vallankumous voidaan siis tulkita tapahtuvaksi myös yksilötasolla. Kuhnin kuvaus omasta kehityshistoriastaan, kuinka hän ei aluksi voinut ymmärtää aristoteelista järjestelmää, on esimerkki tällaisesta historioitsijan (analysts) yhteismitattomuuskontekstista. Toimijoiden yhteismitattomuus ilmenee tilanteessa, jossa ilmiölle on selitykseksi tarjolla kaksi kilpailevaa teoriaa eli paradigmaa. Historiallisen toimijan (actor) valinta kahden paradigman väliltä on Kuhnin mukaan perustaltaan irrationaalinen eikä se perustu puhtaasti järkisyihin tai ”tieteelliseen harkintaan”.³⁶⁷

Kuhnin oma heuristinen oivallus oli, että aristoteelinen luonnonfilosofia ja eksperimentaalinen uusi tiede pyrkivät erilaisiin päämääriin. Näiden kollektiivisten käsitejärjestelmien välillä oli katkos, sillä aristoteelinen järjestelmä oli perustaltaan verbaalinen ja kvalitatiivinen selitysjärjestelmä. Se pyrki antamaan filosofisesti tyydyttävän rationaalisen kuvauksen ilmiöistä. Newtonistinen selitysjärjestelmä oli taas kvantitatiivinen ja matemaattinen. Se pyrki laskennallisesti mahdollisimman tarkkaan kuvaukseen, jonka pohjalta voitiin tehdä ennusteita ja myöhemmin vaikuttavia sovelluksia. Selitysjärjestelmät ovat kuin erilaisia pelejä, kuten kri-

havainnot ovat nykyisin luonnontieteen historian tärkeä tutkimussuunta, joka on erityisesti tieteensosiologien mielenkiinnon kohde. Rachel Laudan, *Observation and Experiment*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 593–594.

³⁶⁴ Kuhn 1969 (1996), s.49. Normaalityiede ei ole niin monoliittinen, ettei siellä voisi vaikuttaa jokin käsitteellisesti eriseurainen fraktio, joka voi olla muutoksen alkusolu. Vaikuttavaa, suuren mittakaavan, vallankumouskäsitystään Kuhn korjasi vuoden 1969 painoksen jälkikirjoituksessa. Kuhnin mukaan hän kirjassaan kirjoitti vain suurista vallankumouksista, johtuen omista rajoitteistaan (hän oli tutkinut Kopernikusta, Newtonia, Darwinia, Einsteinia). Tieteen vallankumoukset voivat olla myös luonteeltaan pieniä, sellaisia, joita tiedeyhteisön ulkopuolinen ei edes huomaa. Kuhn, 1969 (1996), s. 181.

³⁶⁵ Esseekokoelmassaan *Essential Tension* Kuhn korostaa, että ”luonnontiede on ryhmäilmiö, eikä sen tehokkuutta tai tapaa, jolla luonnontiede kehittyi voi ymmärtää, ilman luonnontieteen suhdetta siihen erityiseen ryhmään, joka tiedon tuottaa.” Kuhn 1977, s. xx.

³⁶⁶ Ipek Demir, *Incommensurabilities in the work of Thomas Kuhn*, *Studies in History and Philosophy of Science* 2008, s. 133. Kuhn ei selitä kirjassaan, miten muutos luonnontieteessä tapahtuu. Hänen teostaan arvosteltiin jo tuoreltaan filosofisen täsmällisyyden puutteesta. Keskeiset käsitteet (mm. paradigmalle on löydetty kirjassa 21 merkitystä) saivat kirjassa useita merkityksiä, eikä Kuhn selvittänyt mitä hän aina kulloisessakin kohdassa tarkoitti.

³⁶⁷ Yksilötulkinta on paradigman vaihdoksessa (actor-konteksti) ollut mallina kognitiivispsykologisille tutkimuksille. Luonnontieteen historian käsitteellistä muutosta on käytetty heuristisena analogiana, kun on selitetty lasten ajattelun muutosta; Nersessian 1995 ja Thagard 1993. Dean Keith Simonton (1989) selittää paradigman muutoksen yksilötasolla käyttämällä perinteistä nerousselitystä: käsitejärjestelmän muutos luonnontieteen historiassa edellyttää poikkeusyksilöä, neroa, joka uskaltaa nähdä asiat toisin. Frank Sulloway (1996) selittää taas käsitteellisen muutoksen yksilötasolla, ”nerouden” kapinallisuudella, joka liittyy voimakkaasti tutkijan syntymäjärjestykseen perheessä. Sullowayn mukaan perheen ihmissuhdedynamiikassa sisarusarjan toinen lapsi on yleensä kapinallinen, esimerkiksi tieteen uudistaja.

ketti ja hevospoolo; ei ole mitään mieltä verrata pelejä toisiinsa paremmuusmielessä.³⁶⁸ Samalla tavoin kollektiiviset tulkintajärjestelmät ovat myös yhteismitattomia.³⁶⁹ Usein luonnontieteen historian relativismi ja yhteismitattomuus käsitetään täydelliseksi katkokseksi. Luonnontieteen ja tekniikan tarinat kuitenkin osoittavat, että luonnontieteessä ja tekniikassa on aina jatkuvuutta ja että osittaisia rationaalisuusvertailuja voidaan kummassakin tieteenalassa tehdä.³⁷⁰ Sosiologisesti suuntautuneet tutkijat olivat taas sitä mieltä, että yhteismitattomuus oli otettava kirjaimellisesti, mikä merkitsi, että luonnontieteeseen liitetty edistyksen ajatus oli hylättävä.³⁷¹ Juuri tässä kohdassa Kuhn on ollut keskeinen filosofi konstruktivististen ja postmodernien tutkijoiden kannalta. Kuhnin “paradigma”-käsite omaksuttiin nopeasti myös populaariin tiedekeskusteluun.³⁷²

Kuhn pyrki jatkamaan Koyrén platonilaista perinnettä historiallisessa työssään mutta joutui mielipahakseen toteamaan antaneensa merkittävän impulssin luonnontieteen sosiaalitutkimuksen kehitykselle. Sen radikaaleimmista muodoista Kuhn sanoutui irti.³⁷³ Kuhn uskoi koyrélaisittain, että luonnontiede oli ”erilainen ammatti”. Sen motiivina oli älyllinen mielenkiinto tutkimusongelmiin ja totuudenrakkaus. Tämä on ymmärrettävää, sillä Kuhn oli tutkinut luonnontieteen perinteisiä historiallisia suurmiehiä, kuten Kopernikusta, Kepleriä, Galileita, Newtonia, Maxwellia, Darwinia, Einsteinia ja Bohria. Eksternalistinen näkökulma luonnontieteen historiaan ei hyväksy tällaisen nerokategorian olemassaoloa luonnontieteen historiassa.

Luonnontieteen opettamiseen Kuhn on vaikuttanut merkittävästi. Ensiksi luonnontieteen opetuksen HPS-kokeiluissa käytetään Kuhnin ajattelun internalistista tulkintaa. Kuhn on hyvä lähtökohta, koska hän dramatisoi luonnontieteen muutosta voimakkaasti. Toiseksi HPS-opetuksen vastaliikkeeksi on syntynyt Kuhnin epäsuorasta vaikutuksesta liike, joka korostaa luonnontieteen sosiaalisia puolia ja niiden merkitystä tieteen historian opetuksessa. Tätä liikettä kutsutaan lyhenteellä STS, ja sitä käsitellään myöhemmin erikseen. Kolmas tapa, jolla Kuhn on vaikuttanut luonnontieteen opetuksen tutkimukseen, on hänen tulkintansa oppikirjoista. Kuhn erottaa kaksi luonnontieteen historian lajia: *oppikirjojen luonnontieteen historian* ja *todellisen luonnontieteen historian*. Hänen mukaansa oppikirjat ja niiden luonnontieteen

³⁶⁸ Kiikeriltä ja Ylikoskelta löydämme neljä yhteismitattomuuden lajia: 1) tutkimuskohteiden yhteismitattomuus 2) etäisyys (ajallinen etäisyys; merkitykset ovat muuttuneet on vaikea arvioida kuvauksen totuudenmukaisuutta) 3) merkitysyhteismitattomuus ja 4) standardien ja tavoitteiden yhteismitattomuus (viimeinen kohta on Kiikerin ja Ylikosken lisäys alun perin Ian Hackingin tekemään jaotteluun); Kiikeri ja Ylikoski 2004, s. 66. Aristoteelisen ja newtonistisen selitysjärjestelmän yhteismitattomuus sisältää kaikki nämä yhteismitattomuuden lajit.

³⁶⁹ Kuhn 1996, s. 157.

³⁷⁰ Helge Kragh, *Social Constructivism, the Gospel of Science and Teaching Physics*, Science and Education 1998. Paul Hoyningen-Huene on analysoinut Kuhnin tieteenfilosofian kehittymistä kirjassaan *Reconstructing Scientific Revolutions* (1994). Hänen mukaansa Kuhn ei tarkoita yhteismitattomuudella, että joitakin paradigmoja ei voitaisi vertailla havaintojen perusteella. Ptolemaiolainen ja kopernikaaninen teoria ovat tästä esimerkkeinä. Hoyningen-Huene 1994, s. 218–222.

³⁷¹ Kuhn 1996, s. 170.

³⁷² Kuhnin merkitys luonnontieteen historian opetukselle käy ilmi muun muassa siinä, että luonnontieteen historian opetuksen aikakauskirja *Science & Education* omisti Kuhnille hänen kuolemansa jälkeen kaksoisteemanumeron (2000/1–2).

³⁷³ Vuonna 1983 Kuhnille myönnettiin huomionosoituksena Bernal Award -tunnustus tieteensosiologian 4S-seuran toimesta. Kuhn ei kuitenkaan tullut ottamaan vastaan palkintoa. Hän perusteli käytöstään seuraavasti: ”...minusta (kehityksen) tulos näyttää katastrofilta ... (sosiaalinen tulkinta) on eliminoinut erityisen älyllisen intressin tietoon, joka on internalistisen tutkimuksen kohteena. Minusta tieteen harjoituksen ydin on totuuden rakkaus, viehtymys ongelmaratkaisuun...” Stephen Brush, *Thomas Kuhn as a Historian of Science*, *Science & Education* 2000, s. 43.

historiat kirjoitetaan uudelleen, kun luonnontieteessä paradigma vaihtuu ja tämä näkökulma on omaksuttu tutkimukseen.

Neljänneksi Kuhn on innoittanut ajattelua tutkivia kognitiivispsykologisesti suuntautuneita tutkijoita, jotka käyttävät Kuhnin paradigma-käsitettä parallellismi-teesin muodossa.³⁷⁴ Kasvatustieteilijöiden innostus Kuhnin ymmärrettävää, sillä ideoidessaan luonnontieteen käsitteellisiä muutoksia Kuhn kertoi saaneensa vaikutteita Jean Piaget'n käsityksistä lasten kognitiivisesta kehityksestä.³⁷⁵ Piaget'ille uuden ajattelutavan oppiminen on käsitteellinen vallankumous henkilökohtaisella tasolla. Oppilaan on helpompi ymmärtää sinällään vaikeita luonnontieteen teorioita niiden syntykonteksteissa. Historiallisissa tilanteissa, jossa on jouduttu taistelemaan samanlaista käsitteellistä vastarintaa vastaan, kuin oppilaalla itsellään on uuden tiedon oppimisessa.³⁷⁶

Kun konstruktivistinen tutkimusperinne 1980-luvulla vahvistui luonnontieteen opetustutkimuksessa, kuhnilaiset tiedekäsitykset saivat yhä vahvemman sijan. Cathleen Lovingin ja William Cobernin mukaan Kuhnin vaikutus on ollut jopa liiankin innokasta ja luonnontieteen opetustutkijat ovat muuttuneet ”Thomas Kuhn -ihailijakerhoksi”.³⁷⁷

4.2.6 LUONNONTIETEEN, POLITIIKAN JA TALOUDEN YHTEYDEN ANALYYSIT

Robert K. Merton julkaisi klassikkotutkimuksensa vuonna 1938. Hänen innoittamaan alkoi tieteensosiologian ohjelma, joka tutki tieteen normeja, tiedettä instituutiona, tieteellisten julkaisujen arviointijärjestelmää, tieteen palkkiojärjestelmää ja tieteenharjoituksen resurssien jakamista. Tieteensosiologia ei tutkinut tiedemiesten toimintaa käytännössä tai tieteen teorianmuodostusta vaan jätti itse varsinaisen tieteellisen toiminnan luonnontieteen historian tutkimuksen huoleksi.³⁷⁸

³⁷⁴ Nancy Nersessian näkee luonnontieteen historiallisissa case-tapauksissa mahdollisuuden ymmärtää, miten oppilaat oppivat uusia käsitteitä ja teorioita. ”Luonnontieteenhistoria, tieteenfilosofia ja psykologia auttavat opettajia ja tutkijoita ymmärtämään, sitä miten oppilaat oppivat luonnontiedettä.” Nersessian, *How Do Scientists Think?* Teoksessa toim. R. N. Giere 1991, s.39.

³⁷⁵ Demirin mainitsemat kaksi paradigmatilannetta ovat myös vaikuttaneet luonnontieteen opetuksen tutkimukseen. Paradigmakäsitteestä on hämäävästi kaksi erilaista päätulkintaa myös luonnontieteen opetuksen tutkimuksessa: Halloun (*Modeling Theory in Science Education* 2004) käyttää ”paradigmaa” yksilöllisessä, kognitiivisessa mielessä, ja tähän perustuu aiemmin käsiteltyyn paralleeliteoria. Wendel (2008) muistuttaa, että Kuhn alkuperäisesti tarkoittaa paradigmatella erityisesti sosiaalista tulkintaa. Greiffenhagen ja Sherman ovat Wendelin kanssa samaa mieltä: paradigmanvaihdos ei ole yksilöä koskeva. Toinen tulkinta viittaa siis oppilaiden tiedekäsitysten kehitykseen ja toinen taas tietoon sosiaalisena, jaettuna maailmankuvana. P. J. Wendel, *Models and Paradigms in Kuhn and Halloun*, *Science & Education*, 2008, s. 116. C. Greiffenhagen & W. Sherman, *Kuhn and conceptual change: On the analogy between conceptual changes in science and children*, *Science & Education* 2008.

³⁷⁶ Tyypillinen ajankohtaiseen opetustarpeeseen kehitetty sovellus koskee evoluutioteoriaa, jota oppilaiden on vaikea oppia. Paul Thagardin ja S. Findlayn mukaan muutosvastarinta voidaan ottaa huomioon erityisesti evoluutioteoriaa opetettaessa. Oppikirjat antavat teorian keksimisestä liian yksinkertaisen kuvan: ”Luonnontieteen oppikirjat antavat usein yksinkertaisen kuvan luonnontieteen metodista: kehitä hypoteesi, suunnittele koe, jolla se testataan, hylkää hypoteesi, jos et havaitse ennakoituja tuloksia. Darwinin ja muiden tiedemiesten metodologia on paljon monimutkaisempi, sisältäen prosesseja, kuten esimerkiksi kokeiden vastaisten anomalioiden ymmärtäminen tai teorian ja kilpailevien teorioiden keskinäinen arvioiminen.” P. Thagard ja S. Findlay, *Science & Education* 2010, s.625.

³⁷⁷ Cathleen Loving ja William Cobern, *Invoking Thomas Kuhn; What Citation Analysis Reveals about Science Education*, *Science & Education* 2000, s.206.

³⁷⁸ Yhteenveto mertonilaisesta tieteensosiologiasta Kiikeri ja Ylikoski 2004, s.114–124.

Edelleen luonnontieteen historioitsija Derek de Solla Price'n kirja *Little Science, Big Science* (1963) avasi uuden näkökulman luonnontieteeseen. Luonnontieteen eri piirteiden kvantitatiivinen tutkimus paljasti talouden, politiikan ja luonnontieteen läheiset yhteydet. De Solla Price kohdisti tutkimuksensa luonnontieteen historiasta aluksi 1600-lukuun mutta laajensi sen sittemmin aina 1900-luvun puoliväliin. Hän havaitsi modernia luonnontiedettä kuvaavan keskeisen piirteen: luonnontieteellisen tutkimuksen kaikinpuolisen eksponentiaalisen kasvun. Luonnontiede oli muuttunut amatööritieteestä suureksi *teolliseksi yritykseksi*, johon käytetyt yhteiskunnan voimavarat olivat huomattavia. Kun 1960-luvulla kiinnitettiin yhä enemmän huomiota luonnontieteen ja yhteiskunnan välisiin sidoksiin, alettiin saada luonnontieteen historian tutkimukseen opiskelijoita uudenlaisista taustoista. Luonnontieteen historian internalistisesti suuntautuneet tutkijat oli aiemmin yleensä värvätty luonnontieteistä; 1960-luvulta lähtien politiikan ja sosiologian opiskelijat alkoivat olla yhä kiinnostuneempia tieteentutkimuksia.³⁷⁹ Syntyi uusi tutkijapolvi, joka kiinnostui erityisesti 1900-luvun tieteestä ja alkoi käyttää sosiologisia menetelmiä tutkimuksiinsa. Luonnontieteen historian ”sankariaika”, ensimmäinen ja toinen vallankumous, koettiin vieraaksi. Nykyhetken ongelmat vaativat nykytieteen tuntemusta.

De Solla-Price'n kirja kyseenalaisti käsityksen luonnontieteen arvovapaudesta. Miten tiede voi olla arvovapaata, jos se käytti suuren osan ihmiskunnan voimavaroista tutkimuksiin, joiden tarkoituksena rahoittajat eivät ymmärtäneet tai joiden käyttöä ei voitu rationaalisesti perustella? Pienestä kirjasta on tullut eräs luonnontieteen historian tärkeistä merkkipaaluista, ja 1900-luvun valtavia investointeja edellyttävää luonnontiedettä on alettu aivan yleisesti kutsua nimellä ”Big Science”.³⁸⁰

Ideologioiden vaikutus luonnontieteeseen oli luonnontieteen historiassa ollut jo aiemmin tutkittu näkökulma arjalaisessa ja marxilaisessa tieteessä. Nyt tieteensosiologisesti suuntautuneet historian tutkijat alkoivat tutkia tasapuolisesti, miten kylmä sota oli vaikuttanut lännessä luonnontieteelliseen tutkimukseen. Esimerkiksi tieteensosiologi Shiela Jasanoffin mukaan kylmän sodan aikaan Yhdysvalloissa luonnontieteen asema määriteltiin pitkälti vaikutusvaltaisen tiedepoliitikon ja insinöörin Vannevar Bushin näkemysten mukaisesti.³⁸¹ Vannevar Bush oli ollut johtamassa atomipommin suunnittelua, Manhattan-projektia, joka oli hyvä esimerkki valtion ohjailupolitiikan tehokkuudesta luonnontieteessä. Bushin käsite ”endless frontier” (päättymätön rintama) määritteli luonnontieteen ja tekniikan välisen suhteen. Valti-

³⁷⁹ Tieteensosiologisesti suuntautunutta, hyvin monipuolisia metodeja käyttävää, tutkimusta kutsutaan nimellä ”science studies”. Kiikeri ja Ylikoski 2004 kääntävät termin tieteentutkimukseksi. Englanninkielisessä kirjallisuudessa käytetään usein kirjainyhdistelmää STS (science, technology and society). Tällöin halutaan korostaa, kuinka vaikeaa nykytieteen tutkimuksessa on erottaa tiedettä ja teknologiaa toisistaan. Luonnontieteen opetuksessa STS-liike on omaksunut juuri tämän kirjainyhdistelmän. Kiikeri ja Ylikoski 2004, s.13.

³⁸⁰ De Solla-Price tutki aluksi luonnontieteen historian varhaisimpia julkaisuja, vuonna 1665 perustettua tiedelehti *Philosophical Transactionia*. De Solla-Price'n tutkimus puolustaa yhä paikkaansa opetuksessa. Kirjan luonnontieteestä tehdyt kvantitatiiviset havainnot olivat aikanaan uraauurtavia ja nyt ne ovat vakiintunut osa Big Science -kuvausta tieteestä. Etenkin 1900-luvun tieteen luonteen muutoksesta kirjassa esitetyt kvantitatiiviset kuvaajat ovat helposti tutkittavissa. Derek J. de Solla Price, *Little science, Big Science...and Beyond* 1986. John Ziman kuvaa kirjassaan *The Force of Knowledge. The scientific dimension of society*, 1976 (s. 210–240) luonnontieteen Big Science -piirteitä. Luvusta voi huomata, kuinka nämä Big Science -piirteet kuuluvat erottamattomasti luonnontieteen historialliseen opetustulkintaan. Tämän piirteen huomiointia opetuksessa vaati jo 1987. J. Heilbron artikkelissaan *Applied History of Science*, *Isis* 1987, s.554.

³⁸¹ Ronald Kline, *Construing 'Technology' as 'Applied Science': Public Rhetoric of Scientists and Engineers in the United States, 1880–1945*, *Isis* 1995, s. 218.

on tuli ohjailla luonnontieteellistä tutkimusta aivan kuten toisen maailmansodan vuosina.³⁸² Luonnontiede nähtiin kylmän sodan aikaan Yhdysvalloissa lähinnä ulkopolitiikan voimavaraksi. Kylmä sota merkitsi luonnontieteiden ja tekniikan valjastamista ulkopolitiikan välineeksi, osaksi avaruushjelmaa ja asevarustelua. Bushin mukaan luonnontieteen perustutkimus tuli tehdä yliopistoissa, joissa vallitsi suuri tieteenalojen sisäinen tutkimusvapaus. Tekniikan tehtävänä oli kehittää luonnontieteen perustutkimuksesta sovellutuksia teollisuuden käyttöön ja etenkin kylmän sodan varustelukilpailuun. Valtion ja luonnontieteen tutkimuksen epävirallinen yhteisymmärrys tunnetaan nimellä ”Amerikan tieteen yhteiskuntasopimus” (”America’s social contract for science”).³⁸³

Tässä ”sanattomassa sopimuksessa” valtio rahoitti ja takasi tutkimuksen autonomian ja sai vastapalvelukseksi koulutettuja tutkijoita ja keksintöjä teknisiin sovellutusprojekteihin. Impliittisesti tämä sopimus sisälsi käsityksen luonnontieteen koyrélaisesta teoreettisesta puhtaudesta sekä luonnontieteen ja tekniikan erillisyydestä. Luonnontiede nostettiin ikään kuin teoreettisuudessaan norsunluutorniin suojaan politiikan likaiselta peliltä. Tieteensosiologi Steve Fuller näkee tässä ilmiössä kylmän sodan aikaisen tiedepoliittisen ohjelman: luonnontiede haluttiin pitää poliittisista syistä tiedemiesten alueena, ja luonnontieteen historian internalistinen tulkinta sopi tähän projektiin mainiosti, kuten myös Thomas Kuhnin ”normaalitiede”-käsite.³⁸⁴

Kylmän sodan aikaan luonnontieteestä paljastui piirteitä, jotka eivät sopineet konservatiiviseen internalistiseen kuvaan luonnontieteestä. Tällaisia piirteitä olivat länsimaisen luonnontieteen vaikutukset kehitysmaihien³⁸⁵, kiihtyvä asevarustelu, luonnonvarojen tuhlailu, saasteongelma³⁸⁶, Vietnamin sota jne. Luonnontieteen ja politiikan yhteys alettiin nähdä yhä selvemmin. Hyvä esimerkki ilmiöstä on Jerome R. Ravetzin klassikkoteos *Scientific Knowledge and its Social Problems* (1971). Kirja on perussävyltään marxilainen, vaikka siitä puuttuu marxilainen formalismi.³⁸⁷ Ravetzin kirja oli merkittävä luonnontieteen historian sosiaalisen dimension yleisesitys. Ravetz hylkää kokonaan suurmiesnäkökulman. Kirjan lukuja ovat muun muassa Tiede likaisena työnä, Teollistuneen tieteen sosiaaliset ongelmat, Kadotettu paratiisi, Kylmä sota ja varusteluhulluus, Vietnamin sota, ”Shoddy Papers” eli turhien tutkimusten

³⁸² Peter J. Westwick, *Basic and Applied Science*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s.82.

³⁸³ Shiela Jasanoff, *Technology of Humility Citizen Participation in Governing Science*, Minerva 2003, s. 227.

³⁸⁴ Steve Fullerin mukaan James Bryant Conantin Harvardin luonnontieteen historian case-opetuksessa korostettiin tätä eroa. Thomas Kuhn oli Conantin työn jatkaja ja sittemmin kirjassaan rikkoi internalismi-eksternalismi-rajalinjan. Steve Fuller, *From Conant’s Education Strategy to Kuhn’s Research Strategy*, Science & Education 2000.

³⁸⁵ David Wade Chambers ja Richard Gillispie, *Locality Colonial Science, Technoscience and Indigios Knowledge*, Osiris, 2001. Kirjoittajien mukaan länsimaisen luonnontieteen universalismin sijaan on tärkeä tutkia luonnontieteen paikallisuutta. On tärkeää huomata länsimaisen luonnontieteen paikalliset sovellutukset, sekä sen paikalliset vaikutukset. Tämä on analoginen näkemys tiedeopetuksen monikulttuurisuusteessin kanssa. Länsimaisen luonnontieteen leviämisen muotojen ja seurausten tutkimuksen aloittaja oli George Bassalla, joka esitteli kolmen aallon mallin länsimaisen luonnontieteen leviämisestä. George Bassalla, *The Spread of Western Science*, Science 1967, no 15.

³⁸⁶ Rachel Carsonin kirja *Silent Spring* (1962) oli merkittävä silmien avaaja. Siitä on tullut osallistuvan tiedekirjallisuuden klassikko. Carson paljasti kemianteollisuuden luoman saastekatastrofin Yhdysvalloissa. Kirjan paljastus johti DDT:n kieltämiseen tuholaismyrkkynä 1972. Tapaus osoitti tutkimuksen, teknologian ja talouden läheiset suhteet konkreettisesti ja lisäsi myös yleistä tiede- ja teknologiavastaisuutta. Daniel J. Kevles, *Environment*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 269–270.

³⁸⁷ Nathan Reingold tyrmää Isiksen (1973, s. 222) kirja-arviossaan Ravetzin kirjan katsoen, että kirjoittaja ei ymmärrä, että tiedeyhteisön viimekätisenä intressinä tutkimuksilleen on totuus. Luonnontieteen historian tutkija löytää Ravetzin ”Big Picture” laajasta katsauksesta paljon tulkintavirheitä.

julkaisu ja Teollisuus tunkeutuu tieteeseen: R and D, ABC-aseet.³⁸⁸ Kaikki nämä teemat ovat keskeisiä kriittisiä näkökulmia ns. modernin tieteenhistorian tulkintaan. Ravetz vaatii kirjaansa tämän näkökulman sisällyttämistä myös luonnontieteen opettamiseen.³⁸⁹

Poliittinen tulkinta luonnontieteestä herätti vastustusta internalistisesti suuntautuneissa tutkijoissa. Tieteenhistorian lehden, *Isiksen*, luonnontieteen historian kirjoituksen teoriaan keskittyvällä palstalla Ravetz puolusti vuonna 1981 voimakkaasti marxilaista näkökulmaa eksternalismi versus internalismi -keskustelua käyvässä artikkelissa Richard Westfallia (aikansa johtava Newton-tutkija) vastaan. Ravetzin mielestä marxilainen näkökulma tuo merkittävän lisäarvon nykyiseen tieteen sosiaalishistoriaan.³⁹⁰ Westfall vastasi internalistiseen tapaan: ”Mielestäni käsitystemme perimmäinen ero on Ravetzin haluttomuus tai kyvyttömyys käsitellä (tiedon) *hengen itsenäistä luonnetta*.” Westfall kannatti edelleen koirélaista käsitetutkimusta eikä voinut hyväksyä marxilaista lähtökohtaa.³⁹¹ Luonnontieteen historian mainstreamivirtaa eivät internalistiset tutkijat voineet muuttaa. Nuori luonnontieteen historian tutkijapolvi hyväksyi tieteensosiologisen tulkinnan, vaikkakaan ei marxilaisessa muodossa.³⁹² Tällaista luonnontieteen yhteiskunnallisiin ulottuvuuksiin keskittyvää tutkimusotetta voidaan kutsua makrososiaalisesti näkökulmaksi.

Tieteensosiologi Shiela Jasanoff pitää 1900-lukuun keskittyvää luonnontieteen makrososiaalista tutkimusta erityisen tärkeänä. Tällä alueella luonnontieteen historioitsijoiden ja tieteen sosiologioiden tutkimustavoitteet hänen mukaansa yhdistyvät. Jasanoffin mukaan uudella näkökulmalla, tieteensosiologialla, ja luonnontieteenhistorialla on neljä tärkeää yhteistä intressikohdetta, joissa yhteistyötä tulee harjoittaa:

1. Tieteensosiologia voi valottaa luonnontieteen *käytännön keksimisprosessia*.³⁹³ Luonnontieteestä ja tekniikasta saadaan paljon käyttökelpoista tietoa tutkimalla niitä sosiaalisina instituutioina, kilpailujärjestelminä, ja tarkastelemalla tiedemiesten pyrkimyksiä saavuttaa uskottavuus, hankkia itselleen mainetta ja elantoa.
2. Tieteensosiologinen tutkimus voi saada kuuluviin luonnontieteen ja tekniikan *”valetut äänet”*, kuten naistutkijat ja luonnontieteestä syrjäytetyt ryhmät.

³⁸⁸ Jerome Ravetz, *Scientific Knowledge and its Social Problems* 1971, s. 57.

³⁸⁹ Ibidem, s. 21. John Zimanin *The Force of Knowledge* (1976) on oppikirjavastine Ravetzin akateemisemalle työlle. Zimanin toinen kirja, *An Introduction of Science Studies* (1984), oli tärkeä merkkipala STS-opetuksen synnylle (Ziman 1976, s. ix). Zimanin kirjat olivat antiteeseja yliopistojen ”tomuisille” HPS-kursseille. Joan Solomon, *The UK and the movement for science, technology and society (STS) Education*, (toim. Scanlon) 2004, s. 81.

³⁹⁰ Jerome Ravetz, *FOCUS: Internal versus external in the history of science*, *Isis* 1981, s. 401.

³⁹¹ ”Minusta perimmäinen ero näkemystemme välillä, on hänen (Ravetzin) haluttomuutensa käsittää tieteellisen tutkimuksen autonomista henkeä...kaikista korjauksista huolimatta Ravetz on uskollinen marxilaisen katsomuksen ytimelle, joka eroaa täysin koirélaisesta käsiteanalyysistä...” John Westfallin vastine, *Isis* 1981, s. 405.

³⁹² Juuri 1980-luvun alku oli tieteensosiologisen tulkinnan voimakkaan kasvun aikaa. Ristiriita internalismin ja eksternalismin välillä näkyy arvovaltaisen *Science*-lehden artikkelissa, jossa William Broad vuonna 1980 kirjoittaa (Charles Gillispieta lainaten): ”Viimeisten kahden vuosikymmenen aikana luonnontieteen historian opiskelijat ovat olleet alun perin *politiikan tutkijoita*, jotka *tietävät vain vähän luonnontieteestä* ja sen historiasta. Heidän mielenkiintonsa on keskittynyt luonnontieteen sosiaalisiin merkityksiin.” (kursiivit LH) Aikaisemmin luonnontieteen historia oli kiinnostanut luonnontieteen opiskelijoita ja tutkijoita. Broad, *Science*, 1980, s.389.

³⁹³ ”...by illuminating the normally invisible backstage of the laboratories and other scientific spaces”. Jasanoff, 2003, s.629.

3. Luonnontieteen ja teknologian tutkimus tarjoaa uuden keskeisen tutkimuskohteen sekä tieteensosiologialle että luonnontieteen historialle, *1900-luvun tutkimuksen*.³⁹⁴
4. Luonnontieteen historian moderni kertomus nostaa esille suurmiehet, nerot, mutta tieteensosiologia korostaa luonnontieteen *yhteisöllisyyttä* eikä voi antaa millekään tutkijaluokalle etusijaa. Luonnontiedettä voidaan tutkia rodun, sukupuolen (ks. Rossiter, Haraway ja Jasanoff) ja sosiaaliluokan kannalta. *To-ttuuden ja vallan välinen yhteys* voidaan saada näkyväksi (ks. Shapin). Jasanoff korostaa molempia luonnontieteen eksternalismin pääalueita, makrososiaalisia ja mikrososiaalisia piirteitä historian ja sosiologian tutkimuksen yhteistyöalalu-eina.³⁹⁵ (kursiivit LH)

4.2.7 TIETEENSOSIOLOGIA LUONNONTIETEEN HISTORIAN VALTAVIRTANA

Aluksi Albert Rupert Hallin johtama internalistinen, koyrelaisen historiakäsityksen mukainen torjuntataistelu tuotti tulosta ja teorioiden ja käsitteiden kehityshistoria jätettiin mertonilaisen tieteensosiologian ulkopuolelle. 1970-luvun uusi radikaali sosiologisukupolvi piti mertonis-mia ”heikkona sosiologisena ohjelmanä”, koska se oli hyväksynyt koyrelaisen luonnontieteen historian rajauksen. Sosiologien kannalta itse luonnontieteen keskeisimmät alueet, kokeet ja tieteen teoriamuodostus, olivat ”mustia laatikkoja”, ”Black Boxes”, joiden sisällöstä sosiolo-git eivät saaneet olla kiinnostuneita.³⁹⁶ Mertonilaisen ”heikon ohjelman” vastaiseksi kapina-liikkeeksi syntyi luonnontieteen sosiologian ”vahva ohjelma”. Vahvan ohjelman edustajat halusivat kurkistaa myös ”mustaan laatikkoon”.³⁹⁷ Ohjelma laajennettiin radikaaleimmillaan luonnontieteen keksimiskontekstin täydelliseen sosiologiseen selittämiseen. Akateemisessa elämässä vallinnut kuilu ns. humanististen ja luonnontieteiden välillä syveni erityisesti 1960- ja 1970-luvuilla. Kuilun taustalla voidaan nähdä Kuhnin vaikutus, sillä hänen kirjansa *Tietee-listen vallankumousten rakenne* antoi mahdollisuuden haastaa käsitys luonnontieteellisen tutkimuksen objektiivisuudesta.³⁹⁸

³⁹⁴ Ibo van de Poelin ja Lambér Royyakkersin kirja *Ethics, Technology an Engineerin, An Introductio* (2011) on STS-opetussovellus, joka on varustettu monin valaisevin case -tapauksin. Kirjan lukuisat, opetuksellisesti analysoidut esimerkit ovat 1900 -luvulta. Kirjan opetuksellinen päämäärä on parantaa opiskelijoiden taitoja arvioida tekniikkaan (engineering) liittyviä eettisiä ongelmia. Kirja tarjoaa käytännön työkaluja tieteen ja tekniikan etiikan opetuksen kehittämiseen.

³⁹⁵ Sheila Jasanoff, *Social Studies in Science* 2000, s.629–630.

³⁹⁶ ”Black Box” tarkoittaa erityisesti keksimiskontekstia, joka oli ollut internalistisesti suuntautuneiden tieteen histo-riotsijoiden tutkimuspiiriä. Siinä historian tutkimusongelmaa kartoitetaan menneisyyden tutkijoiden tieteellisten maailmankuvien kautta. Tässä kohdassa he joutuivat ristiriitaan luonnontieteen historian sosiaalitutkijoiden kanssa, joiden projektina on palauttaa keksiminen pelkästään sosiaaliseksi ilmiöksi (Bruno Latour ja Steve Woolgar). Nancy Nersessian, *Opening the Black Box: Cognitive Science and History of Science*, Osiris, 1995. Alun perin vahvan ohjelman tarkoitus oli haastaa luonnontieteen internalistinen tulkinta *epistemologisesti* eli antaa sosiaalinen selitys jonkin luonnontieteellisen idean keksimiselle. Näin radikaalia tulkintaa ei useinkaan enää esitetä.

³⁹⁷ Mertonin heikon ohjelman kritiikki näkyy *Social Studies of Science* -lehdessä Robert Mertonin muistoartikkelissa. Vaikka Mertonia ylistetään merkittävimmäksi yksittäiseksi tieteensosiologiksi, muistetaan, että hän on ollut 1980-luvulla vahvan ohjelman kiivas kriitikko. *Social Studies of Science* 36/4, s. 829.

³⁹⁸ Jerry Gaston, *Sociology of Science and Technology*, teoksessa toim. P.T. Durbin 1984, s. 475–477.

Internalistien tieteenfilosofinen käsiteanalyysi ei enää ollut suosittu tutkimusmetodi. Nuori polvi halusi tutkia, miten tiede käytännössä toimii ja kehittyy. Uutta virtausta alettiin kutsua tieteenfilosofiseksi naturalismiksi. Ylikoski kuvaa virtausta seuraavasti (1995): "...tieteenfilosofisen naturalismin lähtökohta on tutkia tiedettä sellaisena, kuin se on, eikä sellaisena kuin sen filosofisten tutkimusten mukaan ehkä tulisi olla... Naturalistit katsoivat, että tiedettä tulee tutkia samalla tavoin, kuin mitä tahansa inhimillistä toimintaa tai instituutiota."³⁹⁹

Tätä uutta lähestymistapaa kutsutaan tieteenfilosofiassa naturalistiseksi käänteeksi. Tähän tutkimukseen tarvittiin uusia tutkimusmenetelmiä ja tutkimuskohteita. Menetelminä käytettiin luonnontieteen kielen diskurssianalyysia, retoriikan tutkimusta, sosiologisia valta-analyyskejä sekä antropologisia menetelmiä tiedeyhteisön tutkimiseen.⁴⁰⁰ Enää ei tutkittu tutkijoiden tutkimusdokumenteja vaan tunkeuduttiin tiedemiesten työpaikalle ja tehtiin tutkimusta "vieraan heimon", tiedemiesten käyttäytymisestä.⁴⁰¹ Tunnetuimpia tämän suuntauksen tieteenhistorioitsijoita on Steven Shapin, joka on tutkinut laajasti Englannissa 1600-luvulla vaikuttanutta "herrasmiestutkijoiden" sosiaaliluokkaa ja heidän luokkasidonnaisia käsityksiään totuudesta.⁴⁰² Englannissa tällaista tutkimusta kutsutaan nimellä Science, Technology and Society (STS)⁴⁰³, ja tämä tutkimuksen haara on voimakkaasti vaikuttanut luonnontieteenopetukseen.

Edinburghin yliopistossa 1970-luvun lopulla kehitetty tieteensosiologian suuntaus oli erityisen voimakas. Siellä kehitetty "vahva ohjelma", "Strong programme", rakentuu neljälle teesille:

1. Tiedonsosiologisen tutkimuksen tulee olla *kausaalista*. Sen tulee esittää kausaaliset olosuhteet ja yhteydet, jotka saavat aikaan tieteellisen tiedon ja uskomukset. Myös muut kuin sosiaaliset kausaaliset tekijät vaikuttavat uskomusten ja tietoväitteiden muodostumiseen.
2. Sen on oltava puolueetonta suhteessa tutkittavien näkemyksiin totuudesta, epätotuudesta, rationaalisuudesta tai irrationaalisuudesta, tieteellisestä menestyksestä tai epäonnistumisesta. Näiden erottelujen molemmat puolet vaativat yhtä lailla selityksen.
3. Sen on oltava symmetristä selityksissään: samantyyppiset syyt selittävät sekä todet että epätodet uskomukset.

³⁹⁹ Ylikoski, Tieteenfilosofinen naturalismi, Niin & Näin 1995, s. 2.

⁴⁰⁰ Uusi suuntautuminen on nähtävissä vuonna 1990 julkaistun kirjan Companion to the History of Modern Science -teoksessa Roy Porterin, Barry Barnesin, Robert Youngin, Trevor Pinchin ja Jan Golinskin artikkeleissa, jotka muodostavat suurimman osan pääluvusta Luonnontieteen historian tutkimus.

⁴⁰¹ Artikkelissa The Sociology of the Scientific Community Trevor Pinch luettelee tieteensosiologian tutkimuksen painopistealueet: tieteelliset kiistat, osallistuvat laboratoriotutkimukset, tieteellisen tiedon rakentumistutkimukset ja etnometodologia- sekä diskurssitutkimukset. Pinch, teoksessa toim. Olby, Cantor, Christie ja Hodge 1990, s. 87–99.

⁴⁰² Steven Shapinin The Social History of Truth (1995) käsittelee 1600-luvun tiedeyhteisön muodostumista herrasmieskulttuuriksi ja tämän sosiaaliryhmän tavoittelemaa tieteellistä totuutta relativistisena ilmiönä. Shapin 1995, s. 124.

⁴⁰³ Val Dusek, Philosophy of Technology: an introduction 2004, s.158.

4. Sen on oltava refleksiivistä. Periaatteessa sosiaalisten selittämisperusteiden pitää soveltua myös sosiologiaan itseensä.⁴⁰⁴

Luonnontieteen historiassa ilmiöt kuten alkemia, astrologia, frenologia, lysenkolaisuus jne. olivat jo aiemmin kuuluneet sosiaalisten selitysten piiriin. Ne oli selitetty poikkeamiksi luonnontieteen rationaalisuudesta. Immanuel Kantin ajoista lähtien matematiikka ja fysiikka olivat olleet erityisasemassa luonnontieteen historiassa. Ne olivat olleet rationaalisuuden vankkumaton linnake ideologioita ja sosiaalisia tiedetulkintoja vastaan. Vahvan ohjelman kannattajat kuitenkin kielsivät matematiikan ja luonnontieteiden erityisaseman suhteessa tieteen sosiaaliin selityksiin.

Tarkasteltaessa teorioiden historiallista keksimiskontekstia, jossa tutkijoiden punnittavina on ollut useampia selittäviä teorioita ilmiöille, on muistettava ettei tiedetä, mikä kilpailevista teorioista tulee ”voittamaan” ja edustamaan totuutta. Kaikki teoriat ovat perustuneet pitkään luonnontieteen traditioon, ja niiden selityksille on olemassa rationaalisia perusteluja. Tämän vuoksi luonnontieteen historiassa tutkitaan teorioiden syntykonteksteja symmetriaperiaatteen mukaisesti: kaikki, sekä onnistuneet että epäonnistuneet, tutkimusohjelmat luonnontieteessä kuuluvat selitettävien ilmiöiden piiriin.⁴⁰⁵

Symmetriaperiaatetta seurattaessa ei historian tutkimuksessa metodisesti asetuta valmiiksi jonkin teorian puolelle, kuten ns. whig-tulkinnassa. Historiantutkijat ovat aina hyväksyneet tämän konstruktivismin periaatteen.⁴⁰⁶ Luonnontieteen historian tutkijat eivät yleensä omaksu kuitenkaan kantaa, että luonnontiede olisi pelkästään sosiaalisesti konstruoitua (socially constructed) tai että luonnontiede ei millään tavalla olisi yhteydessä kuvattaviin ilmiöihin.⁴⁰⁷ Historiantutkijat ajattelevat käytännön työssään lähtökohtaisesti, että menneisyyden lähteet ovat olemassa ja niiden tulkinnan ehdot määräytyvät tutkittavan ajan historian merkitysten kautta. Lisäksi he olettavat, että historian tutkimusyhteisön tutkimustuloksiin voidaan pääsääntöisesti luottaa.

Monia perinteellisen luonnontieteen historian lähteitä voidaan tulkita sosiaalisen konstruktion kannalta. Luonnontieteen teorioiden valintatilanteet ja keksimisen kuvaukset palautuvat usein retorisisiksi strategioiksi ja yhteiskuntaluokkien poliittisiksi pyrkimyksiksi, joiden välilukuita tiedemiehet ovat.⁴⁰⁸ Voidaan ajatella, että kun tiedemiehet tekevät valintoja kahden teorian, esim. karteesiolaisen korpuskulaarisen teorian ja Newtonin mekaniikan välillä, he eivät arvioi teorioita vain rationaalisesti niiden selitysvoiman perusteella, vaan osapuolet saattavat käyttää myös erilaisia retorisia ja poliittisia suostuttelukeinoja saadakseen oman kantansa vallitsevaksi teoriaksi.

⁴⁰⁴ Kiikeri ja Ylikoski 2004, s.137.

⁴⁰⁵ ”Puolueettomuuden vaatimus korostaa sitä, että tiedonsosiologille kaikki uskomukset ovat yhtä oikeutettuja tutkimuskohteita. Olipa uskomus meidän mielestämme sitten epäatosi, irrationaalinen tai epäonnistunut näkemys...tiedonsosiologin ei tule ottaa kantaa tutkimiansa väitteiden totuusarvoon tai järkevyyteen.” Kiikeri ja Ylikoski 2004, s. 139.

⁴⁰⁶ Ian Golinski, *Making Natural Knowledge* 1998.

⁴⁰⁷ Konstruoidut faktat todentuvat laboratoriorien seinien ulkopuolella. Luonnontieteen tulosten leviämisen salaisuus on *standardisointi*. Siinä tulokset, menettelytavat ja välineet saavat muodon, jossa ne ovat helposti ja rutiinomaisesti siirrettävissä muihin laboratorioihin. Kiikeri ja Ylikoski 2004, s.161.

⁴⁰⁸ Peter Westwick, *Science Wars*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 738.

Tällaista irrationaalista menettelyä on vaikea historiallisesti hyväksyä, koska lähtökohtaisesti luonnontieteen historia osoittaa, että tiedemiehet arvostavat parempia selitysjärjestelmiä, tarkempia instrumentteja ja insinöörit kestävämpiä materiaaleja ja tehokkaampia voimakoneita. Teorioilla on ollut sovellusten kautta kosketuspinta ”todellisuuteen”. Peter Dear (2006) korostaa luonnontieteen kahden piirteen, ymmärrettävyyden (teorian) ja instrumentaalisuuden (tehokkuuden) yhteenkietoutumista luonnontieteen historiassa.⁴⁰⁹ Luonnontieteet ovat ”heilu-neet” näiden kahden välillä ja painopiste on historian aikana vaihdellut. Luonnontieteen tehokkuus selittyy näiden komponenttien kautta. Luonnontieteen koiräläinen tulkinta keskittyy vain ymmärrettävyyteen.

1970-luvulla tieteenhistorian sosiaalinen tutkimus keskittyi mertonilaisittain tiedeorganisaatioiden institutionaalisiiin muotoihin, vallankäytön makrotasoon ja tieteen patronaasiin.⁴¹⁰ Ensimmäisiä vahvan ohjelman tutkimuksia luonnontieteestä oli Kuhnin oppilaan Paul Formanin teos *Weimar Culture, Causality and Quantum-theory*, 1918–1927 (1970).⁴¹¹ Kirjassaan Forman esittää, että kvanttimekaniikan indeterminismin hyväksymiseen vaikutti ensimmäisen maailmansodan jälkeisessä Saksassa levinnyt irrationaalisuutta korostava kulttuuripessimismi.⁴¹²

Uuden suuntauksen klassikotutkimus oli Bruno Latourin ja Stephen Woolgarin julkaisema *Laboratory life: The Social Construction of Scientific Facts* (1987). Tutkielmassaan he tarkkailivat kaksi vuotta Salk-instituutin laboratorioelämää rakentaen mielenkiintoisen kuvauksen

⁴⁰⁹ Peter Dear, *The Intelligibility of Nature* 2006, s.193.

⁴¹⁰ Patronaasilla tarkoitetaan tieteenhistoriassa 1500-luvulla syntyneitä järjestelmää, jossa yliopistojen ulkopuolelta tuettiin tiedettä yhä laajemmin. Tiedettä sivuavia tutkimusaloja olivat alkemia, lääketiede, luonnonhistoria, astrologia ja erilaiset kokeet (erityisesti kellot, peilit, teleskoopit). Näyttäviä kokeita alettiin järjestää julkisesti ruhtinashoveissa. Ruhtinaat alkoivat kerätä ”kummallisuuksien gallerioita”, sekä luonnon esineitä että artefakteja, ja lisäksi perustettiin kasvigallerioita ja eläinkokoelmia. Kaikella tällä oli suora yhteys ruhtinaan varallisuuteen ja valtaan, jota haluttiin julkisesti esittää. Hovit maksoivat luonnonfilosofoille hyvin. Yliopiston hierarkiasta voitiin poiketa, ja näin Galilei saattoi saada matemaatikkona luonnonfilosofin palkkaa. Hovi vaati kuitenkin akateemisesta elämästä poiketen uusia taitoja: väittelytaitoa, juonittelua ja julkisuutta. Salongit taas syntyivät valistusajakaan erityisesti Ranskassa ja ne antoivat uudelle tieteelle ja tiedemiehille ainutlaatuisen mahdollisuuden esitellä alansa ja henkilökohtaista kyvykkyyttä. Sekä patronaasi, hovit, että salongit näyttelivät merkittävää roolia uuden sosiaaliryhmän, tiedeyhteisön, kehitymisessä, jota 1700-luvulla kutsuttiin ”kirjeiden tasavallaksi”. Mario Biagoli, *Courts and Salons*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s.186. Margaret Jacob on kuvannut teollistuvaa Englantia, joka sitoutuu monissa sosiaalisissa muodoissa uuteen tieteseen. Tiede suorastaan tunkeutui 1700-luvun yhteiskuntaan. Sama kehitys jatkui voimakkaana 1800-luvulla, tästä erinomainen esitys on James Secordin *Victorian Sensation* (2000), joka kuvaa ”epäonnistujan”, Chambersin populaarin evoluutioteorian, kautta uutta englantilaista tieteellistävää yhteiskuntaa.

⁴¹¹ Kvanttimekaniikan on teoria on hyvin monitulkintainen. Nykyisin käyty kiista kvanttiteorian tulkinnoista perustuu mm. erilaisiin tieteenfilosofisiin ennako-oletuksiin. Tästä johtuen syntyy ”vapaita tiloja”, joihin kulttuurimiljöö saattaa vaikuttaa...mutta ”kvanttimekaniikan konkreettisten oppisisältöjen yhteys kulttuurimiljööhön on vähintäänkin problemaattinen kysymys.” Kiista palaa perusasetelmaan: eikö todellisuus aseta kuitenkin tarkat rajat teorian rakentumiselle, filosofisissa teorian tulkinnoissa on taas enemmän liikkumavaraa.” Formanin kirja on yksi STS- tutkimuksen viitatuimmista kirjoista. Raimo Lehti, *Leijonan Häntä* 2000, s. 310–311.

⁴¹² Formanin monografiasta julkaistiin artikkelilyhennelmä 1973 Isiksessä. Muuten sosiologiset tutkimukset olivat 1970-luvulla vielä harvinaisia Isiksessä. Arnold Thackrey kirjoitti (Isis1981/1), että koiräläisen tutkimusohjelman aika on ohi ja uudet (sosiaaliset) virtaukset saavat jalansijaa. Tutkijat, joiden tutkimusote on selkeästi eksternalistinen, alkoivat julkaista case-tapauksiaan. Isiksen numerossa 1981/2 kaikki kolme pääartikkelia ovat tieteesosiologian tutkijoiden kirjoittamia: James Secordin artikkeli, jossa kartoitetaan Charles Darwinin suhteita kyyhkysjalostajiin, Steven Shapin uusi tulkinta klassikkokiistasta Leibnizin ja Clarken välillä sekä Andrew Pickeringin kvarkkikokeiden sosiologinen tulkinta. Pickeringin artikkelissa asetetaan luonnontieteen koejärjestelyjen objektiivisuus kyseenalaiseksi. Siirtymä eksternalistisiin tieteesosiologisiin teemoihin on nähtävissä, jos vertaamme 1980-luvun, 1990-luvun ja 2000-luvun luonnontieteen historian johdantokirjoja keskenään.

tosiasioiden rakentumisesta ja artefaktujen merkityksestä tieteellisessä tutkimusprojektissa. Tutkimus ärsytti perinteisiä luonnontieteen historioitsijoita, filosofi ja luonnontieteen tutkijoita. Heidän mukaansa projektin tutkimukset eivät kohdistuneet tieteellisiin kuvausjärjestelmiin tai tieteellisten kiistojen analysointiin vaan tieteellisen toiminnan jäsenten eleiden ja toimien yksityiskohtaiseen kuvaukseen. Juuri luonnontieteen teorian sisällölliset kysymykset olivat tiedemiehille ja internalistisille historioitsijoille luonnontieteen ydin.⁴¹³

Kokeellisuutta pidettiin tieteen vallankumouksen keskeisenä piirteenä. Koyrén mukaan aristoteellisen järjestelmän summittaisuus korvautui täsmällisyydellä, kun ilmiöistä tehtiin kvantitatiivisesti mitattavia. Tähän modernin tieteen eksperimentaaliseen kivijalkaan iskivät sosiologit Shapin ja Schaffer. He alkoivat analysoida ”kemian isän” Robert Boylen ja hänen kiistakumppaninsa filosofi Thomas Hobbesin kiistaa tyhjiöpumppukokeista. Shapin ja Schaffer halusivat uudelleen arvioida hävinneen ja luonnontieteen historiasta ”puhdistetun” Hobbesin roolia väittelyssä. Shapinin ja Schafferin konstruivat uudelleen Hobbesin luonnonfilosofina ja todistivat, että historiankirjoitus oli ollut tämän tapauksen osalta ”whig-historiaa”. Schaffer ja Shapin torjuivat ajatuksen, että kokeet sinällään olivat objektiivisen tiedon lähde. Heidän mielestään koetilanteet olivat *poliittisia*.⁴¹⁴ Tähän näkökohtaan liittyi juuri Hobbesin kohtalo, sillä hän uskoi karteesiolaistain deduktiivisen rationaalisen päättelyn ensisijaisuuteen.⁴¹⁵ Boyle ja kokeellisuuden kannattajat taas uskoivat empirismiin ja probabilismiin. Näiden tieteellisten tulkintaerimielisyyksien vuoksi Hobbes syrjäytettiin Royal Societystä.

Mikä tässä ajalle tyypillisessä luonnonfilosofisessa kiistassa oli poliittista? Tänä aikana käytiin Englannissa veristä sisällissotaa, ja Shapinin ja Schafferin mukaan kummankin luonnonfilosofisella vakaumuksella oli poliittinen pohjansa. Luonnonfilosofiset erot olivat siis vain osa laajoja poliittisia kiistoja. Näin politiikka on kiinteä osa laboratorioita ja erilaisten kokeiden avulla tehtyjä tulkintoja. Kokeet eivät ole objektiivisen tiedon lähde, vaan niillä vakuutettiin toisia tiedeuskovaisia.⁴¹⁶

⁴¹³ John H. Zammito (2004), *Derangement of Epistemes, Post-Positivism in the Study of Science from Quine to Latour*

⁴¹⁴ Artikkelissa *The Experimental Philosophy and Institutions* Shapin väittää, että tosiasiat ovat yhteisöllisesti luotuja. Niitä ei voi olla olemassa ilman hyväksyntää. Tosiasioiden luotettavuus ja uskottavuus on sosiaalinen prosessi. Artikkelissaan hän käsittelee erityisesti Robert Boylen tyhjiöpumppukokeita. 1600-luvun tieteen julkaisujärjestelmä loi erityisen ”virtuaalisen todistamisen” mahdollisuuden luonnontieteen uudistuneen kirjallisen julkaisukäytännön kautta. Shapin 2003, s.82.

⁴¹⁵ Thomas Hobbes kannatti karteesiolaista korpuskularismia, joka oli tärkeä 1600-luvun aatevirtaus. Korpuskularistien mielestä luonnonilmiöt voitiin selittää erilaisten partikkelien liikkeiden avulla. Nämä partikkelit vaihtelivat kooltaan ja muodoltaan. Korpuskularistit kritisoivat jyrkästi aristoteelikkujen ”laatuihin” perustuvia selityksiä. Aristoteelikot ja karteesiolaiset katsoivat, että tyhjiötä ei voinut olla olemassa. Atomistit, jotka edustivat toista koulukuntaa, katsoivat tämän olevan mahdollista. Näin tyhjiöpumppukokeiden selitykset olivat tärkeä metafyyinen kohtauspiste näille koulukunnille. R.W. Home, *Cohesion*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s.163.

⁴¹⁶ Steven Shapin, teoksessa Hellyer 2003 (alunperin 1984), s. 97; myös Steven Shapin ja Simon Schaffer, *Leviathan and The Air-Pump* 1989. Raimo Lehti käsittelee kirjassaan *Leijonan häntä* (2000) laajasti Shapinin ja Schafferin teosta. Lehden mukaan väite, että tieteellinen kontroverssi voidaan nähdä vain yhteiskunnallisena kiistana, on yksinkertaisesti virheellinen. Lehti 2000, s.307. Ylikoski ja Kiikeri (2004) edustavat välittävää kantaa: ”... ’tieteellinen fakta’ olisi vain sosiaalisen neuvottelun tulos, eikä ’oikea’ tieteellinen fakta. Moni tieteellisen tiedon sosiologian kriitikko ei ole muistanut, että sosiaalikonstruktivistit ei käytä sanaa ’sosiaalinen’ tässä arkimerkityksessä. Konstruktivistit ei pyri osoittamaan, että hänen tutkimansa tutkimuskäytännöt olisivat jollakin tavoin huonoja tai kyseenalaisia. Päinvastoin hän pyrkii pikemmin tutkimaan tiedettä parhaimmillaan.” Kiikeri ja Ylikoski 2004, s. 158.

Shafferin ja Shapinin tutkimus sai sosiologian ja myös luonnontieteen historioitsijoiden taholta myönteisen vastaanoton. Historioitsija Cassandra Pinnickin kritiikin mukaan tutkimus oli teknisesti huolellisesti tehty, mutta siinä oli oleellinen vika: se ei käsitellyt substantiaalisesti luonnontieteen kehityksen kannalta merkittävää episodiat.⁴¹⁷ Kokeellista tutkimusta harrastettiin paljon 1600-luvulla ja vielä enemmän 1700-luvulla. Vain harvat kokeet johtivat ”tietoon”. Suurin osa johti vain luonnonfilosofisiin väittäelyihin.

Tieteensosiologia on osoittautunut hedelmälliseksi lähtökohdaksi näiden kiistojen selittämiseen. Jos tieteensosiologit haluavat antaa sosiaalisesta konstruotumisesta vakuuttavan esimerkin, on osoitettava, millä tavoin Principian klassinen mekaniikka on ”sosiaalinen konstruktio” eikä luonnontieteen kehityksen epäämätön fakta.⁴¹⁸ Juuri tämä oli ollut Boris Hesseinin esittämä väite: Principian klassinen mekaniikka oli sosiaalinen konstruktio, heijastusta varhaiskapitalistisen yhteiskunnan tuotanto-ongelmista.

4.2.8 LUONNONTIETEEN EKSTERNALISTISEN HISTORIAN PERINTÖ LUONNONTIETEEN HISTORIAN OPETUSKOKEILUISSA

Luonnontieteen eksternalistiset tutkimukset ovat nykyisin luonnontieteen historian tutkimuksen valtavirta. Niiden tulokset tulisi ottaa huomioon opetuksessa ja historian oppikirjojen sisällöissä. Opetusperinteen syntymistä on kuitenkin hankaloittanut tiedemaailmaa jäytävä erimielisyys, jota kutsutaan ”tiedesodiksi”, Science Wars.⁴¹⁹ Luonnontiede on poikkeuksellisesti historiallisessa tilanteessa. 1700-luvulta asti sen oli katsottu edustavan uudistusvoimaa, joka on taistellut totuuden puolesta taikauskoa ja konservatismia vastaan. Erityisesti 1930-luvulla lännessä tiedemiehet kannattivat usein poliittista vasemmistoa. Uudessa, ”tiedesotien” tilanteessa luonnontieteen erikoisasema yhteiskunnassa ja koulutuksessa on kuitenkin asetettu kyseenalaiseksi ja luonnontiede on joutunut puolustautumaan radikaalin ”vasemmiston” hyökkäystä vastaan.

Toisaalta haaste oli vielä laajempi ja koski historianfilosofiaa.⁴²⁰ Ranskalaiset filosofit, kuten Jean-Francois Lyotard, Jacques Derrida ja Michel Foucault, kielsivät ”valistuksen suuret

⁴¹⁷ Cassandra Pinnick, *Whats Wrong with the Strong Programme Case Study*, teoksessa toim. N. Koertge 1998.

⁴¹⁸ Shapinin mukaan (*A Social History of Truth*) mukaan inhimillisessä tiedossa on mukana sosiaalinen komponentti sekä ”thing-knowledge” -komponentti. Se, että jotain faktaa pidetään luotettavana tietona, johtuu tiedon sosiaalisesta komponentista. ”What we call ‘social knowledge’ and ‘natural knowledge’ are hybrid entities...” Shapin, 1994, s.xxvi. Shapinin näkökantaa tukee se, että nykyään on vaikea tietää, mihin jonkin faktan totuudellisuus perustuu ja kenellä on yhteisössä jonkin asian suhteen asiantuntemusta. Tieto on hajaantunut laajalle nyky-yhteiskunnassa.

⁴¹⁹ Michael Matthews mukaan konstruktivistien tietoteoreettiset lähtökohdat äärimuodoissaan ovat kestäättömiä *kouluopetuksen* kannalta: ”We have no unmediated access to reality, objective knowledge of reality is impossible, sense experience is the foundation of scientific knowledge, there is a sharp distinction between observational terms that pick out sense experience and theoretical (nonobservational) terms in scientific theory, our sense experiences are the only things of which we have unmediated knowledge, sense experience is both the fount and the test of knowledge claims, the object of knowledge is not reality, but experience, the bearer of knowledge is the experiencing or cognising subject, the test of knowledge is not truth, in the sense of correspondence, but utility, the world has no structure, structure is derived from the world being perceived and there is no world apart from experience.” Matthews, *Science & Education* 2004, s.108.

⁴²⁰ Meera Nanda, *Antiscience*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s. 40.

kertomukset”.⁴²¹ Valistuksen suurena ydinkertomuksena modernin tieteen edistyskertomus oli historiallisena prosessina joutunut kielteiseen valoon. Tiedeyhteisössä levisi postmodernin tulkinnan luonnontiedekielteisyys. Yhdysvaltain tiedeakatemia oli tutkimuksissaan havainnut rinnakkaisena ilmiönä kansalaisten tietämättömyyden lisääntymisen. Nämä seikat johtivat modernin tiedenäkemyskäsityksen vastaiskuun.⁴²² Luonnontieteen opetuksen tutkijoiden näkemykset ovat myös joutuneet vastakkain keskenään.⁴²³ Opetusentutkijat ovat jakautuneet kiistassa kahteen leiriin.⁴²⁴

1. Perinteisen modernin luonnontieteen opetuksen kannattajiin, jotka usein tukeutuvat vanhaan koeteltuun luonnontieteen opetuksen ytimeen, vaikka se sisältää vanhahtavia tieteenhistoriallisia, filosofisia ja sosiologisia käsityksiä. Luonnontieteen historiasta käytetään kritiikittä modernin internalistista kertomusta länsimaisen luonnontieteen voittokulusta.
2. Postmoderneihin, jotka vaativat muutosta luonnontieteen kouluopetukseen. Nämä vaatimukset tuntuvat perustelluilta, mutta heillä ei ole kuitenkaan tarjota käytännön työhön opettajalle yhtenäistä opetussisältöä vaan ”näkökulmia” luonnontieteeseen.⁴²⁵ Tästä huolimatta, että postmoderni tieteen sosiologinen käsitys luonnontieteestä on opetussuunnitelmissa vallannut alaa.

⁴²¹ Marko van den Berg on tutkinut modernin suurta kertomusta historian opetuksen kannalta väitöskirjassaan *Yksi historia monimutkaistuvassa maailmassa* 2007. Kertomuksen haastajia ovat yllä mainittujen lisäksi Hayden White, Richard Rorty, Ronald Barthes, F.R. Ankersmith ja Alan Munslow. Berg 2007, s. 68–75. Myös Jaakko Väisänen kuvailee modernin kritiikkiä historian filosofiassa väitöskirjassaan *Murros oppikirjojen teksteissä vai niiden taustalla?* 2005, s. 48–52.

⁴²² Peter Westwick, *Science*, teoksessa ed. J. Heilbron 2003, s. 738. Tieteenhistorioitsija Gerald Holtonin kannanotto löytyy aikakausjulkaisussa *Public Understanding of Science* 1992 (julkaistu kirjassa Gerald Holton, *Science and Anti-Science* 1992). Kaksi vuotta myöhemmin fyysikko Alan Sokal kirjoitti postmodernismin parodian kvanttigravitaatiosta. Sokal täytti tekstin tahallisia tieteellisiä virheitä ja postmodernilla tiedejargonilla. Artikkelin julkaistiin postmodernissa aikakausjulkaisussa ja sai myönteisen arvion. Sokal paljasti myöhemmin petoksensa sanomalehdille. Pilasta syntyi kiivas ”tiedesota” (*Science Wars*), joka kuohutti Yhdysvaltalaisia tiedemaailmaa. Tieteiden sota on kuumentunut yhä suurempiin mittoihin. *ibidem*, s. 738.

⁴²³ Postmodernin ja konstruktivismin vastaisuus on selkeästi nähtävissä 1992 perustetun luonnontieteen historianopetukseen erikoistuneen aikakauskirjan *Science & Education*in alkuvuosissa. Ensimmäisessä numerossa STS-opetuksen uranuurtaja Glen Aikenhead ehdottaa uuden STS-opetuksen ja perinteisen HPS-historian opetuksen voimien yhdistämisestä yhteisissä alan kongresseissa. Tämä ehdotus jäi toivomukseksi ja suuntaukset ovat pysyneet erillisinä. Steven Brush, *Science & Education* 1992 s. 331. Pääosin *Science & Education*in kirjoittajat edustavat HPS:ä ja sitoutuvat moderniin luonnontieteen historiaan ja realismiin. 1990-luvulla lehden kirjoittajista tieteenfilosofit Nola, Suchting, Irzig ja Slezak kritisoivat voimakkaasti tieteen sosiologiaa ja erityisesti ontologista konstruktivismia. Lehdessä oli julkaistu vain muutamia STS-puolen artikkeleita (Hodsonin ja Rothin artikkelit). Lehden linja näkyy erityisesti teemalehdissä: konstruktivismi- ja monikulttuurisuusnumeroissa, sekä kahdessa erillisessä *Nature of Science* -julkaisussa. Näissä teemalehdissä näkyy voimakas HPS:n painotus ja konstruktivismin kritiikki. Muissa luonnontieteen opetuksen tutkimusjulkaisuissa, kuten *Science Education* ja *International Journal of Science Education*, on taas lähes pelkästään STS-artikkeleita.

⁴²⁴ Tässä tarkoitetaan niitä luonnontieteen opetustutkijoita, jotka ovat osallistuneet keskusteluun *universalismi* (Slezak, Nola, Suchting, Siegel, Irzik, Matthews, Holton ja Brush) vastaan *monikulttuurisuus* (Aikenhead, Roth, Desautels ja Hodson). Tätä keskustelua on käyty esim. *Science Education* ja *Science & Education* -aikakauslehdissä.

⁴²⁵ Derek Hodsonin artikkelissa *Time for action: science education for an alternative future*, *International Journal of Science Education*, 25, no 6, löytyy kokonaisvaltainen mallikurssi, jossa on myös pieni modernin luonnontieteen historian osuus. Valtaosaltaan kurssi painottuu luonnontieteen valta-analyysiin. Hodsonin mukaan analyysin on johdettava käytännön toimintaan. Toiminnalla pyritään vahvistamaan toimijoiden identiteettiä ja poistamaan paikallisia epäkohtia. Toisaalta Hodsonin tiedekasvatuksen päämäärä on eettinen ja ekologinen. Luonnontieteellä on vain

Tilannetta kärjistää se, että postmodernit tutkijat usein vaativat opetuksen totaalista muuttamista, koska modernista luonnontieteestä ei ole heidän mukaansa mitään hyötyä opiskelijalle ja sen opettaminen on pelkästään vallankäyttöä. Heidän mukaansa luonnontieteen opetuksen on tultava emansipatoriseksi, sen on vahvistettava opiskelijoiden kulttuuri-identiteettiä. Opetuksen on edelleen muututtava monikulttuuriseksi, postmoderniksi, relativistiseksi, feministiseksi ja poliittiseksi. Perinteistä luonnontiedekäsitystä edustavia opetustutkijoita on erityisesti ärsyttänyt Harry Collinsin ja Trevor Pinchin laajalle yleisölle tarkoitettu luonnontieteen, tekniikan ja lääketieteen historiaa käsittelevä Golem-sarja⁴²⁶, koska sen kirjoissa on myös avoimen kielteisiä kannanottoja modernin luonnontieteen opetukseen.

Luonnontieteen historian opetussovellusten harrastajissa on myös ”liennytysryhmä”. Johtavien NOS-tutkijoiden mielestä yllä kuvattu kiista ei saa rajoittaa opetuksen kehittämistä, vaan molempia suuntauksia voidaan käyttää opetuksessa.⁴²⁷ Steven Brush julkaisi arvovaltaisessa *Science*-lehdessä 1973 poleemisen artikkelin *Should history of science be rated in file X?* Kirjoitus oli vetoamus kontekstuaalisen HPS-opetuksen sisällyttämiseksi opetukseen. Sen jälkeen useita luonnontieteen historian opetuskokeiluja on toteutettu, ja 1990 saatiin suuntaukselle oma tieteellinen julkaisu, *Science & Education*. Kuhnin ”vallankumouskirjan” jälkeen syntyi voimakas tieteesosiologinen tutkimusohjelma luonnontieteen tutkimukseen, mutta opetukseen nämä tutkimustulokset eivät yltäneet, ja niinpä tieteenhistorian opetuksen tutkija Douglas Allchin halusi tehdä samanlaisen vetoamuksen myös tieteesosiologian sisällyttämiseksi luonnontieteen opetukseen artikkelissaan *Should sociology of science be rated in file X?*⁴²⁸

Mitä tieteesosiologiasta pitäisi opettaa historiaopetuksessa? Douglas Allchin on kannattanut voimakkaasti tieteesosiologian opettamista tieteenhistorian juonteena. Lähteinä viitataan keskeisiin tieteesosiologian edustajiin Robert Mertoniin, Robert Coleen, Bruno Latouriin ja Derek Pinchiin. Suoranaisia sisältösovellutuksia eri historian aikakausilta artikkeli ei sisällä. Yleisten linjausten opetussovelluksia on etsittävä edellisessä eksternalismi-luvussa käsitellyistä yleisesityksistä. Allchinin linjaus on kuitenkin tärkeä, koska tieteesosiologiasta ei ole tarjolla historiaan opetusperinnettä. Allchin pyrkii antamaan vastauksen kysymykseen, millainen on hyvä luonnontieteen historian yleiskuva tieteesosiologian kannalta. Millaisia yleisiä elementtejä siinä olisi oltava?

Allchinin mukaan perinteisistä luonnontieteen oppikirjoista välittyy kuva luonnontieteestä, jonka ydin on universaali tieteellinen metodi. Allchinista luonnontieteestä on annettava opiskelijoille realistinen kuva, miten ”tiedemiehet” ovat tehneet tutkimusta todellisuudessa eri aikakausina.⁴²⁹ Hän siis vaatii tieteenfilosofisen naturalismin sisällyttämistä opetukseen. Hän erottelee luonnontieteenhistorian opetuksesta neljä tieteesosiologian periaatetta.

välinearvoa pyrittäessä eettisesti hyväksyttäviin yhteiskunnallisiin ja henkilökohtaiseen kasvun päämääriin. Paljolti samantyyppisiä kursseja on opetussovellustutkijoilta Aikenhead, Tobin ja Roth.

⁴²⁶ The Golem. What You Should Know about Science (1997). Sarjan ensimmäinen osa käsittelee teknologiaa ja oli nimeltään The Golem at Large (1992).

⁴²⁷ NOS-tutkijoista tätä kantaa edustavat Abd-El-Khalick, Duschl, Lederman ja McComas, sekä myös tieteesosiologi Shila Jasanoff (2000). Myös luonnontieteen historian opetustutkija Douglas Allchin (2003) ja jossain määrin myös Michael Matthews (1994) ovat välittävällä kannalla.

⁴²⁸ Allchin, *Science Education* 2004 s. 934–947

⁴²⁹ Allchinin mielestä luonnontieteen nykyopetus (ja myös luonnontieteen historian opetus) antaa idealistisen kuvan luonnontieteestä. Toisin kuin opetuksessa väitetään, Allchinin mielestä, luonnontiede ei lähesty totuutta, luonnontie-

Ensinnäkin opiskelijoiden tulee saada käsitys luonnontieteen *makrososiologiasta*. Makrososiologia käsittelee luonnontiedettä instituutiona, luonnontieteen vertaisarviointijärjestelmää, luonnontieteellisen tiedon välittymistä, kilpailujärjestelmää, palkitsemista, rahoitusta, luonnontieteen normijärjestelmää (perinteisiä mertonilaisia ”heikon ohjelman” teemoja) ja erityisesti 1900-luvun luonnontieteeseen liittyviä ”Big Science” -piirteitä. Tämä on välttämätöntä, koska opiskelijat joutuvat myöhemmin elämässään tekemään luonnontiedettä koskevia päätöksiä ja heidän on siksi tutustuttava luonnontiedettä koskeviin historiallisiin päätöksiin ja niiden taustoihin. Tässä poliittisessa keskustelussa tiedemiehet usein pyrkivät käyttämään luonnontieteen suomaa auktoriteettiasemaansa.⁴³⁰ Oman tieteenalansa ulkopuolella ei tiedemiesten mielipiteillä ja arvioilla kuitenkaan pitäisi olla mitään erityistä auktoriteettiasemaa.

Toiseksi Allchinin mukaan opiskelijoiden on tutustuttava luonnontieteen historian *mikrososiologiseen* tulkintaan. Mikrososiologinen näkökulma pyrkii valottamaan luonnontieteellistä tutkimusta prosessina. Luonnontieteen oppikirjat antavat kuvauksen valmiista luonnontieteen teoriasta tai luonnonlaista. Luonnontieteen tutkimukseen liittyy aina prosessin aikana paikallisuus ja epävarmuus. Kuvattaville ilmiöille voidaan antaa tällöin monia uskottavia selityksiä. Luonnontieteen historian rationaalinen rekonstruktio kuitenkin peittää prosessin alleen ja antaa valmiin lopputuloksen.

Luonnontieteen mikrososiologialla Allchin siis tarkoittaa Thomas Kuhnin kuvailemaa ”tieteen paradigmaa” tai ”vahvan ohjelman” tulkintaa tieteesosiologiasta. Tämä ei Allchinin mielestä merkitse kuitenkaan, että luonnontiede olisi pelkästään retoriikkaa ja tieto relativistista. Allchinin mukaan luonnontiede sosiaalisena järjestelmänä takaa myös tiedon pätevyyden.⁴³¹ Luonnontieteen teorioiden universaaliudella hän viittaa luonnontieteessä vallitsevaan ankaraan kilpailujärjestelmään, jota Merton jo aiemmin kuvasi ja jota myös tieteenfilosofi David Hull painottaa.⁴³² Allchin viittaa myös tiedon jakautumiseen. Luonnontiede on nykyisin sosiaalisesti hyvin monimutkainen järjestelmä. On vaikea enää sanoa, kuka järjestelmässä on ”tietäjä” ja missä tieto sijaitsee. Monet tieteenfilosofit kuvaavat luonnontiedettä verkkona, jonka toimijoita eivät ole ihmiset vaan verkon tihentymät.⁴³³ Vaikka tieto on tutkimusprojekteissa ja tiedeyhteisöissä niin hajautettua ja spesialisoitua, että on vaikea sanoa, kuka on tietä-

teen havainnot voidaan aina tulkita monella tavalla, ja ”totuus” vakiintuu *neuvotteluprosessin* kautta. (kursiivit LH) Allchin 2004, s.2.

⁴³⁰ Allchin suosittelee opetukseen sisällytettäväksi myös petos luonnontieteessä eli tapaus, jolloin tiedemiesten keskinäisen luottamuksen ja uskottavuuden järjestelmä pettää. Allchin 2004, s. 936.

⁴³¹ ”Hence, we need to dismantle the mythic impression that to be social or constructed is to be irrational or relativist. The rational/social dichotomy is false. Science cannot be divorced from its human context. Science is a human activity. And if humans err, then science will as well.” Allchin 2004, s.947.

⁴³² Allchin 2004, s. 941. David Hull kuvaa luonnontieteen käsitteellistä muutosta evoluution käsittein: keskinäinen kilpailu ja parhaimman käsitteellisen kuvauksen valikoituminen, takaa teorioiden sopeutumisen käytäntöön, ja tätä voidaan kutsua edistykseksi. David Hull, *Science as a process, An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science* 1988, s. 520–522.

⁴³³ ”The challenge in its more general form is clearly familiar to educators who aim to develop a citizenry of nonexperts able to assess and apply expert scientific knowledge in social decision-making. Here, the general problem concerns social epistemology. For example, we learn from others only through the exercise of trust and through a complex system of communication (media).” Allchin 2004, s.942. Tieteesosiologi Bruno Latourin mukaan ”tiedon” ymmärtäminen verkostoiksi hävittää kaikki epistemologian dikotomiat, mm. universaalin ja paikallisuuden erot tieteestä. Bruno Latour, *Emme ole koskaan olleet moderneja* 2006, s.186–192.

jä, tietoon voidaan lähtökohtaisesti kuitenkin luottaa, toisin kuin tietoon monissa arkielämän yhteisöissä ja niiden jakamassa tiedossa.⁴³⁴

Allchinin hahmottelemasta kahdesta luonnontieteen sosiologisesta kontekstista on opetuksellisenä seurauksena, että jokaiseen luonnontieteen opetettavaan kurssiin olisi lisättävä historiallinen esimerkki, jossa kuvataan, kuinka luonnontiede on voinut erehtyä, kuinka tämä virhe on huomattu ja miten virhe on myöhemmin korjattu. On kuvattava tieteen sosiologian kannalta, miksi kyseinen teoria tai käsitys tuntui aikanaan uskottavalta. Luonnontieteen historian opettaminen ilman virheelliseksi osoittautuneita teorioita antaa luonnontieteestä idealistisen käsityksen.⁴³⁵

Neljäntenä luonnontieteen historian opetusperiaatteena Allchin mainitsee, että tieteen sosiologian tulee sisällyttää opetukseen myös internalistista HPS-opetusta. Hyvä yleiskuva luonnontieteen historiasta edellyttää molempia. Tähän lopputulokseen päätyvät myös monet luonnontieteen historian yleisesitysten kirjoittajat sekä useimmat historiankirjoittajat, jotka ovat hahmotelleet luonnontieteen historian ”Big Picture” -kuvaa.⁴³⁶

Tieteenfilosofia ja luonnontieteen historian tutkimus ovat löytämässä tiedon käytännöllisyyden uudelleen. Joel Mokyrin sanoin luonnontieteen historiassa on kyse ”käyttökelpoisen tiedon” (useful knowledge) historiasta.⁴³⁷ Tieteenhistoriassa tutkitaan käsiteltävän kulttuurin kannalta *käyttökelpoisen tiedon historiaa*. Tämä tulkinta näkyy myös luonnontieteen historian Big Picture -keskustelussa, luonnontieteen historian yleisesityksissä ja NOS-kokeiluissa. Näkökulman tulisi näkyä myös luonnontieteen historian opetuksessa. Käytännössä tämä merkitsee, että luonnontieteen HPS-tulkintaa olisi täydennettävä luonnontieteen teknologisilla yhteyksillä. Tämä piirre on nähtävissä selkeänä 1700-luvun tutkimuksessa, luonnontieteen toisen vallankumouksen kuvauksissa ja erityisesti 1900-luvun luonnontieteen historiassa. Derek de Solla-Pricen ja Jerome Ravetzin tutkimukset ovat saaneet jatkoa, ja 1900-luvun luonnontieteen historiassa teollisuuden ja luonnontieteen yhteyksiä voidaan katsoa olevan nykyisin tieteen sosiologisesti suuntautuneen tutkimuksen keskiössä.⁴³⁸ STS-opetuksen luonnontieteen historian painopiste onkin lähellä nykyä.⁴³⁹

⁴³⁴ Douglas Allchin, Pseudohistory and Pseudoscience, Science & Education 2004, s. 940–943.

⁴³⁵ David Allchin, Should Sociology of Science Rated in file X? Science Education 2004, s. 934.

⁴³⁶ Esimerkiksi historioitsija Paula Findlenin mukaan perinteinen ”tieteen vallankumous” opetettava lähtökohdaksi luonnontieteen historiaan, mutta painopiste on laitettava tieteen sosiologiaan ja tieteenhistorian myöhemmälle kehitykselle. Findlen, The Two Cultures of Scholarship, Isis 2005, s.237. Myös luonnontieteen opetustutkijat J. Solbes ja M. Traver, pitävät tieteen sosiologiaa välttämättömänä: “...is essential for pupils to capture the collective and controversial nature of scientific research, originated from the work of very many persons, which is likewise based on the task of more others, in order to avoid the idea of a science basically built by a few geniuses, mostly men.” J. Solbes ja M. Traver, Against a Negative Image of Science: History of Science and the Teaching of Physics and Chemistry, Science & Education 2003, s. 16.

⁴³⁷ Joel Mokyr, The Intellectual Origins of Modern Economic Growth, The Journal of Economic History 2005/2.

⁴³⁸ Shiela Jasanoff, Minerva 2003, s.223–243. Jasanoff vaatii uutta asennetta tieteeseen ja teknologiaan: ”I have suggested a need for ‘technologies of humility’, complementing the predictive ‘technologies of hubris’ on which we have lavished so much of our past attention.” Jasanoff 2003, s.241. 1900-luvun tieteen makrososiaalisina erityispiirteinä Jasanoff listaa seuraavasti: “Knowledge is increasingly produced in contexts of application (i.e., all science is to some extent ‘applied’ science); Science is increasingly transdisciplinary – that is, it draws upon and integrates empirical and theoretical elements from a variety of fields; Knowledge is generated in a wider variety of sites than ever before, not just in universities and industry, but also in other sorts of research centres, consultancies, and think-tanks; and Participants in science have grown more aware of the social implications of their work (i.e.,

4.3 NARRATIIVIT LUONNONTIETEEN HISTORIAN OPETUSKÄYTÖSSÄ

4.3.1 NARRATIIVIEN OPETUKSELLINEN VOIMA

Narratiivien merkitystä opetuksessa ovat korostaneet monet opetuksen tutkijat, erityisesti Jerome Bruner ja Kieran Egan. Brunerin mukaan ihmisen ajattelu koostuu kahdesta peruskategoriasta: loogis-tieteellisestä eli ”paradigmaattisesta mallista” ja narratiivisesta ajattelun mallista. Narratiivi on Brunerin mukaan ihmisen luontainen tapa lähestyä uutta tietoa.⁴⁴⁰ Hänen mukaansa narratiivia voidaan pitää sekä oppimisen lähtökohtana että tiedon eräänä muotona.⁴⁴¹ Timo Tolskan (2002) mukaan Brunerilla narratiivit liittyvät yksilön henkilökohtaiseen ymmärtämiseen, jota Tolska kutsuu Brunerin kahdeksanneksi universaaliksi: ”Se merkitsee, että emme tarkastele tarinoita epätotuus-totuus -akselilla vaan hyväksymme sen, että ihmiset esittävät tapahtumista erilaisia versioita. Tämä on tarinoiden piirre, joka tekee niistä hyviä neuvottelutilanteissa. Narratiivinen neuvoteltavuus (inherent negotiability) ilmenee lapsilla jo varhain.”⁴⁴² Narratiivit eivät Brunerin mukaan kuitenkaan ole ainoastaan yksityisiä, sillä hän näkee yhteisen, jaetun historian merkityksen suojana solipsismia vastaan: ”...yhteisen kerrotun historian kautta tunnemme kuuluvamme yhteiseen menneisyyteen ja tämä rajoittaa kertomuksiamme.”⁴⁴³

Myös opetustutkija Kieran Egan korostaa narratiivien merkitystä kaikessa oppimisessa ja vakuuttaa sen olevan kulttuurinen universaali: kaikki nauttivat kertomuksista, ja ne ovat tapa ymmärtää maailmaa ja omia kokemuksia.⁴⁴⁴ Egan suosittelee kertomusten käyttöä kaikkeen opetukseen ja antaa kirjassaan kertomuksille yleisen dramaturgisen mallin.

Historioitsija Jörn Rüsenin mukaan narratiivi on inhimillisen tajunnan luonnollinen muoto: ihmiset järjestävät ajalliset kokemuksensa kertomuksen muotoon. Kertomuksilla on alku, keskikohta ja loppu, ja kertomuksen alun avaama jännite purkautuu lopussa. Rüsen näkee kertomuksen historiallisen tiedon perusmuodoksi ja kutsuu historiatietoisuutta narratiiviseksi kompetenssiksi, kyvyksi jäsentää ilmiöitä ja muutoksia kertomukseksi.⁴⁴⁵

more ‘reflexive’), just as publics have become more conscious of the ways in which science and technology affect their interests and values. Jasanoff 2003, s.232.

⁴³⁹ Tieteen ja tekniikan opetukseen on nykyisin saatavana opettajille tarkoitettu case-opetuskirja: Ibo Van de Poelin ja Lambér Royakkers, *Ethic, Technology, and Engineering, An Introduction* (2011). Kirjassa käydään läpi erilaisia tieteen ja tekniikan etiikan opetustapoja lukuisten 1900-luvun case -tapausten avulla. Ibo Van de Polin and Lambér Royakker, *Ethic Technology, and Engineering, An Introduction* 2011.

⁴⁴⁰ Bruner, *Narratives in Science*, teoksessa (toim.) E. Scanlon, P. Murphy, Jeff Thomas & Elisabeth Whitelegg, *Reconsidering Science Learning*, 2004. Artikkelissa Bruner soveltaa luonnontieteen historian kertomuksia opetukseen. Tosin nuo kertomukset ovat tyypillisiä myyttisiä luonnontieteen historian tarinoita: Arkhimedes ammeessa, Newtonin päähän putoaa omena. ”Eureka”-myytistä Reviel Netz ja William Noel, 2008, s.33, ja Newtonista ja tiedon puun myytistä Patricia Fara 2003, s.196–202.

⁴⁴¹ Timo Tolska, *Kertova mieli*. Jerome Brunerin narratiivikäsitys. Helsingin yliopiston kasvatustieteen laitoksen tutkimuksia 178, 2002, s.147.

⁴⁴² Idem.

⁴⁴³ Tolska 2002, s.148.

⁴⁴⁴ Kieran Egan, *Teaching as Storytelling* 1989, s.2.

⁴⁴⁵ Jörn Rüsen, *Historical Narration: Foundation, Types, Reason, History and Theory*, 1987, s.87–97. Sirkka Aho-nen, *Historiaton sukupolvi*, Historian vastaanotto ja historiallisen identiteetin rakentuminen 1990-luvun nuorison keskuudessa 1998, s. 26.

Rüsenin, Eganin ja Brunerin pedagogista lähtökohtaa, narratiivien merkitystä oppimisessa, seurataan myös tässä tutkimuksessa. Brunerin käsityksen kertomusten tehokkuudesta opetuksen ja oppimisen välineenä ovat vahvistaneet tutkimuksissaan monet luonnontieteen opettajat ja NOS-tutkijat, jotka ovat liittäneet luonnontieteen historiallisia kertomuksia opetukseensa ja havainneet ne tehokkaaksi tavaksi opettaa.⁴⁴⁶

Kathryn Oleskon mukaan valistuksen luoma moderni tulkinta luonnontieteen historiasta on ollut vallitseva 1960-luvulla asti. Oleskon mukaan modernin kertomus sisältää kaksi ”suurta kertomusta” (master narratives):

1. Kertomus ihmiskunnan emansipaatiosta luonnontieteeseen pohjautuvan järjen avulla.
2. Kertomus kaiken tiedon yhdistymisestä kahden rationaalisen tiedon haaran alle, jotka ovat luonnontiede ja tekniikka.

Tieteensosiologian kritiikki valistuksen luomaa kertomusta kohtaan lähtee siitä, että kertomuksia käytetään erilaisten poliittisten päämäärien tavoitteluun. Modernia luonnontieteen historiaa on käytetty 1800-luvulta lähtien tiedepoliittisesti legitimoimaan luonnontieteen ja tekniikan erikoisasema koulutuksessa ja tukemaan luonnontieteellisen tutkimuksen rahoitusta. Modernista näkökulmasta luonnontieteen ja tekniikan historia ovat perusta teleologiselle kertomukselle länsimaiden edistyksestä, rationaalisuudesta, maallistumisesta, byrokratisoitumisesta ja kansallisvaltioiden muodostumisesta.⁴⁴⁷ Monien tieteensosiologien mielestä se on ollut perusta myös länsimaisen luonnontieteen ja tekniikan imperialismille.

Tieteensosiologioiden mukaan luonnontieteen historia on hajonnut suureksi joukoksi kertomuksia⁴⁴⁸, eikä mitään niistä voida asettaa etusijalle. STS-opetuksen kokeilijoiden mielestä hedelmällisiä ovat vain sellaiset kertomukset, joilla on henkilökohtaista merkitystä opiskelijalle. Ne voivat auttaa opiskelijan henkilökohtaisten tai hänen yhteisönsä paikallisten ongelmien ratkaisemisessa ja myös voimauttaa opiskelijoiden identiteettiä.

Tieteensosiologioiden näkökulma opettamiseen painottuu lähinnä myyttisten kertomusten purkamiseen. Yksi näistä kertomuksista on länsimaisen luonnontieteen ylivertaisuus. Tässä tutkimuksessa ei ole tavoitteena ratkaista näitä luonnontieteen historiankirjoituksen kysymyksiä, vaan keskiössä on opettaminen ja sen vaatimukset. Kummastakin näkökulmasta on kuitenkin mahdollista pohtia, miten valita opetussuunnitelman, opetettavan kurssin tai oppimateriaalin kannalta keskeisiä kertomuksia opetukseen.

⁴⁴⁶ Stephen Norrisin, Sandra Guilbertin, Martha Smithin, Shahram Hakimelahin ja Linda Phillipsin mukaan kyky esittää narratiiveja on jokaisessa ihmisessä synnynnäisenä. Tätä taitoa voidaan jalostaa opetustarkoitukseen. Norris et al., A Theoretical Framework for Narrative Explanation in Science, Science Education 2005.

⁴⁴⁷ Kathryn Olesko, Modernity and Postmodernity teoksessa toim. J. Heilbron 2003, s.540.

⁴⁴⁸ Vrt. Big Picture -keskustelu, joka tukee tätä tulkintaa.

4.3.2 NARRATIIVIT LUONNONTIETEEN OPETUKSEN TUKENA

Narratiivi on luonnontieteen historian ja luonnontieteiden opetuksen tärkeä opetusmenetelmä. Luonnontieteen historiasta ammennetut kertomukset on otettu opetusmenetelmäksi nykyisessä luonnontieteen opetuksen tutkimuksessa sekä Nature of Science-kokeiluissa.⁴⁴⁹ Usein luonnontieteen historiaa käytetään luonnontieteen opetuksen ”tarinapankkina”. Joidenkin luonnontieteen opetustutkijoiden mielestä kertomus on keino motivoida oppilaita. Esimerkiksi Fritz Kublin mukaan luonnontieteen historia toimii luonnontieteen opettamiselle ”oven aukaisijana, sillä paljaista luista ei saada maistavaa ateriaa”, ja edelleen luonnontieteen historian kertomukset antavat mahdollisuuden tunnilla ”viihtymiseen”.⁴⁵⁰ Historiasta otetuilla kertomuksilla voidaan saada oppilaat muistamaan asioita paremmin. Tästä onkin tutkimuksissa saatu vakuuttavia näyttöjä.⁴⁵¹ Luonnontieteen historiallisten kertomusten tehosta ja lumosta on myös luonnontieteen opetustutkijoilla vakuuttavia kokemuksia.⁴⁵²

Ping-Kee Taon (2002 ja 2003) mukaan luonnontieteen luonteen opetuskokeilut paljastavat myös ongelmia luonnontieteen historiallisten narratiivien käytössä.⁴⁵³ Hänen tutkimustensa mukaan kertomukset auttavat oppilaita muistamaan, mutta toisaalta oppilailla on taipumus

⁴⁴⁹ Michael P. Clough, *The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life in Post-Secondary Science Education*, Science & Education 2011 ja Elder Sales Teixeira, Ileana Maria Greca, Olival Freire, *The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions*, Science & Education 2011.

⁴⁵⁰ Fritz Kubli, *Can the Theory of Narratives Help Science Teachers to be Better Storytellers?* Science & Education 2001. Fritz Kubli, *Teachers should not only Inform but also Entertain*, Science & Education, 2006.

⁴⁵¹ Luonnontieteen opetuksentutkimuksissa narratiivien käyttö on laajasti hyväksytty sekä opetusmetodina että myös ymmärryksen muotona. Esim. Shank 2006: ”Kertomus on keskeinen piirre ihmisenä olemisessa”. Kublin (2006) mukaan keskeisiä narratiivien etuja ovat niiden antama motivaatio ja nautinto, sekä kertomuksiin liittyvien eettisten kysymysten pohdinta. Brickhouse, Lowery, & Schultz (2000) sekä Millar ja Osborne (1998) kehottavat käyttämään opetuksessa ihmiskunnan voimakkainta ja parhainta tiedonvälitysmuotoa: narratiivia. Luonnontieteen opetuksessa oppiaineen ideat esitetään usein erillisessä muodossa, mutta kerronnalla ideat saadaan esitettyksi yhteenliittyneinä, muistettavina ja merkityksellisinä. Norrisin (2005) mukaan narratiivit helpottavat muistamista, lisäävät oppiaineen mielenkiintoa ja helpottavat ymmärtämistä. Kaikissa näissä tutkimuksissa katsotaan, että kertomusmuodon hyödyt opiskelussa liittyvät muistamiseen, motivaatioon ja ymmärtämiseen.

⁴⁵² Erityisesti luonnontieteen historiaa opetusmetodina on käyttänyt myös James Wandersee (1986), joka ehdottaa, että historian kertomuksilla kevennettäisiin luonnontieteen opetusta. Myös Kieran Egan (1989) käyttää luonnontieteen historian kertomuksia ja erityisesti kertomusten binäärimuotoa eli vastakohtaisuusmuotoa. Egan käytti lyhyitä historiallisia tarinoita, vinjettejä, opetuksen ohessa. Niiden kesto on 10–15 minuuttia. Opettajat voivat itse luoda itselleen opetukseen sopivan vinjettien ”työkalulaatikon”. MacComas (2008) on koonnut seitsemänkymmentä luonnontieteen oppikirjallisuuden yleisintä lyhyttä vinjettikertomusta luonnontieteen historiasta. Kertomusten voima on hänen mukaansa inhimillisessä mielenkiinnossa (empathian merkitys oppimisessa), jota oppilaat tuntevat keksijöiden elämää ja myös heidän keksintöjään kohtaan. Sekerin ja Welshin (2006) mukaan opiskelijat muistivat erityisen hyvin kertomuksia tiedemiesten elämästä. Seker ja Welsh eivät kiinnittäneet huomiota itse kertomusten sisältöihin. Eganin (1989) mukaan historia auttoi oppilaita jäsentämään omaa kognitiivista struktuuriaan ja Stinnerin (2003) mukaan tarinat auttoivat yhdistämään opitun materiaalin historialliseen kehukseen. Heidän mukaansa historian pitkäaikainen kertomuslinja kiinnittää oppilaiden mielenkiinnon ja virittää mielikuvituksen (myös Carson 2002 ja 2004). Huann-shyang Lin (2002) mukaan historialliset kertomukset vaikuttivat positiivisesti NOS-käsitysten oppimiseen. Nykyisin myös korostetaan, että opetuksentutkijoiden olisi yleisesti kehitettävä parempaa historiallista materiaalia opetukseen. Opettaja tarvitsee erityisesti apua historiallisen opetusmateriaalin muokkaamiseen. Tätä suosittelevat erityisesti Abd-El-Khalick (2000) ja Lederman (2000) sekä Backhus ja Thompson (2006).

⁴⁵³ Ping Lee Tao, *A Study Students' Focal Awareness when Studying when Studying Science Stories Designed for Fostering Understanding of The nature of Science*, Research in Science education, 2002 ja Ping Lee Tao, *Eliciting and developing junior secondary students' understanding of the nature of science through a peer collaboration instruction in science stories*, International Journal of Science Education, 2003.

ottaa vain elementtejä, jotka sopivat heidän ajatusmaailmaansa ja siten vahvistavat sen keskeisiä piirteitä. Nämä elementit ja piirteet määräytyvät sen mukaan, mihin oppilaat keskittävät huomionsa: ne ovat siis riippuvaisia oppilaiden esitiedoista.⁴⁵⁴ Jos luonnontieteen historian opettaminen tavoitteeksi asetetaan mahdollisimman tasapainoinen yleiskuva luonnontieteen historiasta tai käsitys tieteen luonteesta, keskeinen tutkimuksen ongelma on, millaisia tieteen kertomuksia ja episodeja luonnontieteen historiasta opetukseen valitaan ja mitä tarinoita pyritään vahvistamaan tai haastamaan. Luonnontieteen historian kannalta muistamisen tehokkuus tai motivointi ei voi sinällään olla valintojen kriteerinä.

Opetuksen kannalta keskeistä on löytää luonnontieteen historian sisältöjä, joita olisi hedelmällistä opettaa. Luonnontieteen historian opetustarinoita on syytä tarkastella sekä tieteen luonteeseen (Nature of Science)⁴⁵⁵ että luonnontieteen historian yleiskuvan (Big Picture) kannalta.⁴⁵⁶ On valittava luonnontieteen historiallisesti perusteltuja narratiiveja, jotka vievät oppilaiden oppimisen kohti parempaa historiatietoisuutta. Esimerkiksi Michael Clough kuvaa 2010 aloitettua luonnontieteen opetustutkijoiden kollektiivista projektia, jossa pyritään kehittämään 30 kertomusta opettajille NOS-teemoja opettamiseen. Kertomukset on kirjoitettu opiskelijoiden luettavaksi, mutta opettajille osoitetaan omassa materiaalissa erityisesti, mitä NOS-piirrettä tietyllä kertomuksella voidaan opettaa. Osa kertomuksista on valmiina, ja niistä voidaan nähdä, miten kertomuksia voidaan suunnata opetuksellisten päämäärien mukaan.⁴⁵⁷ Jotta opettaja osaisi syventää osoitettuja NOS-piirteitä, hänen on kuitenkin tunnettava keskeiset tieteenfilosofiset ja tieteensosiologiset käsitteet.

Jyrkän postmodernin (tai jyrkän konstruktivistisen) käsityksen mukaan kaikki kertomukset ovat totuusarvoltaan samanarvoisia ja historia on hajonnut ”pieniksi paikallisiksi kertomuksiksi”.⁴⁵⁸ Tämän väitöstyön lähtökohta on kuitenkin maltillinen realismi, käsitys, että ero totuuden ja myytin välillä voidaan suhteellisesti tehdä ja että opetusta voidaan parantaa valitsemalla historiallisesti totuudenmukaisia kertomuksia ja erityisesti kehittämällä opetukseen sopivia kertomuksia.⁴⁵⁹ Tämä edellyttää, että valintojen perusteet ovat tiedostettuja ja että

⁴⁵⁴ Tao 2002, s. 116.

⁴⁵⁵ Milne: ”We need to be conscious of how we organise and interpret events in science and of the prominence that we give a particular science stories.” Kertomusten valintakriteeriksi Milne asettaa käsityksemme luonnontieteen (oikeasta) luonteesta. Sen vastakohtana on myyttinen luonnontieteen historia. Catherine Milne, *Philosophically Correct Science Stories? Examining the Implications of heroic Science Stories for School Science*, Journal of Research in science Teaching, 1998, s.186.

⁴⁵⁶ Big Picture -yleiskuvasta kannanottoja ovat erityisesti luvussa 3.2.4 analysoidut kirjat.

⁴⁵⁷ Michael P. Clough, *The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life in Post-Secondary Science Education*, Science & Education 2011.

⁴⁵⁸ Historianfilosofian yleisesityksissä ei yleensä käsitellä luonnontieteen historiaa osana yleistä historiaa. Keith Windschuttle on poikkeus, hän käsittelee laajasti postmodernin (hänen mielestään tuhoisaa) vaikutusta historiaan kirjassaan *The Killing of History: How Literacy and Social Theorists are Murdering Our Past* 1997. Luvussa *Science as Social Science* käsitellään luonnontieteen historiaa hän tuomitsee luonnontieteen sosiaalihiloriallisen tulkinnan. Hän korostaa objektiivisuuden ja empirian merkitystä historian tulkinnassa ja tuomitsee historian monikulttuuriset tulkinnat. Windschuttlen kapea lähdemateriaali paljastaa, ettei hän tosiasiaassa tunne luonnontieteen sosiaalihilorian perinnettä.

⁴⁵⁹ Historia oppiaineen opetuksen päämäärää ja merkitystä on vaikea määritellä. Tässä tutkimuksessa hyväksytään Arja Virran kiteytys: ”Historia ei ole vain tietoa, vaan myös maailmankuvan elementti, tapa elää ja olla kiinni maailmassa, tiedostaa muutokset ja jatkuvuus, menneisyyden, nykyisyyden ja tulevaisuuden yhteys.” Hyvä luonnontieteen historia voi parhaimmillaan olla rakentavasti maailmankuvan elementti. Arja Virta, Kohti tulevaa menneisyyttä teoksessa toim. J. Löfström 2002, s.38. Myös historioitsija Frank Furedi korostaa historiakäsityksen pirstoutumisen

näistä perusteista keskustellaan laajasti tiedeyhteisössä ja opetusyhteisössä. Luonnontieteen historian historiografian tutkimus osoittaa, että luonnontieteen historiassa on tapahtunut kahdensadan vuoden aikana kehitystä tarkempaan historialliseen tietoon.⁴⁶⁰ Tämä kehitys on myös nähtävissä luonnontieteen historian yleisesityksissä, jotka on tarkoitettu opiskelijoiden ja suuren yleisön luettavaksi.

Uusi luonnontieteen historian tieto ei merkitse, että vanha tulisi merkityksettömäksi. Sille annetaan uusia tulkintoja ja lisämerkityksiä. Tämän vuoksi tutkimuksessa katsotaan yhä, että perinteisillä HPS-kertomuksilla on sijansa luonnontieteen historian opetuksen kokonaiskertomuksissa.⁴⁶¹ Ne ovat edelleen osana luonnontieteen historian yleisesityksissä.⁴⁶² Luonnontieteen historian opetuksen tutkimuksen ja tiedeyhteisön yleiskuvakeskustelun tulisi näkyä kaikilla opettamisen tasoilla: opetussuunnitelmissa, luonnontieteen opetuskokeiluissa ja oppikirjojen sisällöissä sekä näiden ”kertomusvalikoimissa”. Kahdessa ensimmäisessä tasossa muutos on jo selvästi nähtävissä NOS-teemojen muodossa.

Tämän tutkimuksen kannalta keskeiset luonnontieteen opetuksen tutkijat ovat Arthur Stinner (2003), Don Metz (2006), Stephen Klassen (2007), Douglas Allchin (2003), Michael Clough (2010) ja Michael Matthews (1994). He vaativat oikeutetusti, että narratiivien on oltava myös historiallisesti päteviä nykytutkimuksen kannalta ja että opetuksen tulee tehdä oikeutta historialliselle tulkinnalle. Sanalla sanoen he sitoutuvat maltilliseen historialliseen realismiin ja uskovat, että suhteellinen ero myyttisen ja totuudenmukaisemman luonnontieteen historian välillä voidaan tehdä. Nämä tutkijat painottavat HPS:aa ja modernia kertomusta; Douglas Allchin taas korostaa sosiaalihistoriallista tulkintaa. Vaikka painotukset ovat erilaisia, kaikki luonnontieteen opetustutkijat hyväksyvät modernin ja sosiaalihistoriallisen tulkinnan kokonaiskuvan täydentäjinä.⁴⁶³

Klassen listaa hyvän narratiivin historiallisia elementtejä seuraavasti:

– kertomus tekee oikeutta historiallisille lähteille ja historialliselle tulkinnalle,⁴⁶⁴

vaaroja kirjassaan *From Mythical Past to Elusive Future* 1992, s.240–241. Laajemmin aiheesta van den Berg 2007, s.84–92.

⁴⁶⁰ Tässä kohtaa nojaututaan pragmatistiseen tieteen totuuskäsitykseen: ”...Se, että maailmaa voi kuvata monilla tavoilla, ei implikoi sitä, että kaikki tavat kuvata sitä olisivat oikeita...Totuudessa ei ole kyse abstraktista vastaavuudesta kielen ja maailman välillä, vaan inhimillisestä käytännöstä, kielipelien pelaamisesta.” Tässä tapauksessa käytäntö on luonnontieteen historian pitkä tutkimuskäytäntö ja sen tutkimukseen kehittämä kielipeli on luonnontieteen historian käytännöstä syntynyt luonnontieteen kehityksen kuvaustapa, joka on joltain osin vakiintunut, osittain jatkuvan muutoksen alainen. Sami Pihlström, *Tutkiiko Tiede todellisuutta*, 1997, s. 146–147.

⁴⁶¹ Big Picture -keskustelussa todetaan, että vaikka luonnontieteen historian moderni kertomus ei olekaan tutkimuksen painopisteitä, se tulee opettaa novisisille.

⁴⁶² Steven Shapinin kanta on tästä poikkeus, Shapin, *The Scientific Revolution* 1997.

⁴⁶³ Tämä on selkeä tendenssi luonnontieteen historian yleiskuvaa rakentavassa kirjallisuudessa, jota käsiteltiin edellä erillisessä luvussa (luku 3.2.).

⁴⁶⁴ Stephen Klassen (*Science & Education* 2007) ei artikkelissaan, *The application of historical narrative in science learning: the cable story*, pohdi mikä on oikeaa luonnontieteen historiaa. Voidaan ajatella, että totuudenmukaista luonnontieteen historiaa on se, joka on vakiinnuttanut tiedeyhteisössä asemansa historiallisena tulkintana. Tämä luonnontieteen historian tulkinta on hyväksytty luotettaviin luonnontieteen historian yleisesityksiin ja luonnontieteen historian tutkimusoppaisiin. Tulkintojen valinta on luonnontieteen historian tieteenalan sisäinen asia. Pihlströmin sanoin: ”On vain konkreettista, historiallisesti kehittyvää tieteellistä tutkimusta, joka korjaa omia normejaan kaiken

- kertomus on pantava oikeaan historialliseen kontekstiin tasapainoisella tavalla,
- kertomuksessa ei käsitellä ainoastaan käsitteiden muutoksia, vaan tuodaan opetukseen humanistinen elementti,
- kertomuksessa annetaan tiedemiehistä käsitys oikeina inhimillisinä toimijoina.

Douglas Allchin ja Michael Matthews ovat luonnontieteen historian tutkijoita, ja he pystyvät itse valikoimaan opetuksellisesti valideja narratiiveja ja tulkitsemaan historiallisia kertomuksia. Useimmat luonnontieteen opetustutkijat ovat kuitenkin luonnontieteen historian käyttäjiä, ja he vetoavat luonnontieteen historian tutkijoihin saadakseen parempia kertomuksia opetukseen.⁴⁶⁵ Tämän tutkijat ovatkin tehneet: Big Picture -keskustelu ja käytännön luonnontieteen historian yleisesitykset ovat vastauksia tähän tarpeeseen.

4.3.3 LUONNONTIETEEN SUURI TARINA EEPPISENÄ ROMANSSINA

Henkilöhistoria ja historian kertomusperinne eivät varsinaisesti ole olleet luonnontieteen historian perustutkimuksen painopistealueita. Koyrélainen internalistinen tieteenhistoria on käsiteanalyysiä, eikä siinä ei ole sijaa varsinaisesti henkilöön sidotulle tarinalle. Koyré kuitenkin uskoi ylivertaisten nerotutkijoiden panokseen luonnontieteen kehityksessä, ja koyrélainen tarina voidaan rinnastaa luonnontieteen edistyksen suureen metakertomukseen, koska se sisältää käsityksen luonnontieteen edistyksestä.⁴⁶⁶ Toisaalta internalistinen moderni kertomus HPS-opetuksessa käytettynä vie luonnontieteen keskeisten ongelmien ja niiden ratkaisuyritysten pariin. Luonnontieteen historiallinen käsiteanalyysi osoittaa, miksi joku keksintö on ollut keskeinen luonnontieteen teorian kehitysprosessissa. Luonnontieteen historian painopistealue on 1970-luvulta lähtien ollut tieteen sosiologia, ja siinä on ennemminkin keskitytty kertomusten purkamiseen ja nähty luonnontiede sinällään kollektiivisena ilmiönä.

Historianfilosofi Mark Day erottelee kaksi käsitystä historiallisista ”narratiiveista”. ”Ohuen” käsityksen mukaan tieto voidaan aina järjestää ajallisesti kahden tai kolmen tapahtuman sarjoiksi. Tämän käsityksen mukaan narratiivit eivät ole mitenkään erityisesti historian erityispiirre, vaan niitä voi löytyä fysiikasta, biologiasta, geologiasta jne. Toisaalta historianfilosofiassa vaikuttaa myös ”tiheidin” narratiivien koulukunta. Tällöin historiallisen tiedon ajatellaan aina järjestäytyvän kertomuksen tai kertomusten muotoon.⁴⁶⁷

aikaa. Pseudotieteiden tuomitseminen on tieteen sisäinen tehtävä, kuten kaikki muukin maailmankuviamme muokkaava työ.” Pihlström 1998, s.204.

⁴⁶⁵ Huann-shyang Lin, Jui-ying Hung ja Su-Chu Hung, Using the history of science to promote students’ problem-solving ability, *International Journal of Science Education* 2002; Fouad Abd-El-Khalick ja Norman G. Lederman, The Influence of History of Science Course on Students’ Views of Nature of Science, *Journal of Research in Science Teaching* 2000a; De Wayne Backhus ja Kenneth Thompson, Addressing the Nature of Science in Preservice Science Teacher, *Journal of Science Teacher Education* 2006.

⁴⁶⁶ Katherine Parkin ja Lorraine Dastonin mukaan se on edelleenkin ehdoton klassikkotarina, jonka vetovoima ei ole hävinnyt: ”It is genuine mythology, which means it expresses in condensed and sometimes emblematic form themes too deep to be unsettled by mere facts, however plentiful and persuasive.” Teoksessa toim. Kathrine Park ja Lorraine Daston 2006, s.15.

⁴⁶⁷ Mark Day, *The Philosophy of History*, 2008, s.168–169

Narratiivit voidaan luokitella Aristoteleen tapaan tyypikertomuksiin niiden juonirakenteiden perusteella.⁴⁶⁸ Historioitsija Hayden White tutki historiankirjoitusta kertomusten juonirakenteiden kannalta klassikkotutkimuksessaan *Metahistory* (1973). Kertomukselle White antaa neljä juonivaihtoehtoa kertomukselle.⁴⁶⁹ *Romanttisessa* kertomuksen juonessa kuvataan historiallinen tarina triumfina. Sankari, luokka, kansakunta tai aate joutuu taistelemaan suuria vastuksia vastaan. Uroteoillaan sankari muuttaa maailmaa. Luonnontieteen historiassa tämä tarkoittaa, että toimija on aina sankari eli nero, jolla on vallankumouksellinen visio. Hän saa aluksi vastaan päkkaa ja vastustusta, mutta lopulta totuus voittaa. Näin luonnontiede edistyy ja luonnontieteen avulla myös ihmiskunta kehittyy. *Traaginen* kertomus alkaa haastavasta tehtävästä, jonka eteen sankari on asetettu. Tuloksena ei ole triumfi vaan tuho ja kuolema. Traaginen loppu ei kuitenkaan ole merkityksetön, vaan sen seurauksena on jonkinlainen sovitust, ainakin niille, jotka ovat draaman todistajina. *Koominen juoni* alkaa myös tehtävällä, joka on suoritettava, tai vaikeudella, joka on voitettava. Tämä tehtävä on kuitenkin merkitykseltään mitätön. Vaikka tarinan rakastavaiset löytävät toisensa sekaannuksien jälkeen, maailma pysyy ennallaan. *Satiirisessa* juonessa perustava muutos on mahdollon, koska toimijat ovat olosuhteiden vankeja. Vaikka sankarit uskovat muutokseen, lukijat ymmärtävät toimijoiden ylimielisyyden, hybriksen, tehtävän edessä ja heidän ponnistelujansa turhuuden.⁴⁷⁰ Edellä kuvattuja kertomuskategorioita löydetään William Clarkin artikkeleissa *Narratology and the History of Science* (1995). Clark on ottanut analysoitavaksi neljä luonnontieteen historian klassikkokirjaa. Näistä kolme edustaa tieteen sosiologiaa, eikä niiden juonityyppejä löydy luonnontieteen historian opetuksen kertomuksissa. Luonnontieteen historian perustarinatyyppi historian oppikirjoissa ja popularisoinneissa on eepinen romanssi, jota vastaa Clarkin analysoimana Charles Gillispin klassikko luonnontieteen historia *The Edge of Objectivity* (1960).⁴⁷¹ Clark valitsi Gillispin kirjan sen levinneisyyden takia, ja sen avulla hän etsii luonnontieteen historiasta tyypillisen eepisen romanssin kertomukselliset tehokeinot sekä havainnollistaa, miksi luonnontieteen historiassa suurmieshistoriat ovat niin suosittu kertomusmuoto.

Gillispin kirja kertoo modernin fysiikan kertomuksen modernin luonnontieteen vallankumouksesta 1950-luvulle asti, Galileista Einsteinii.⁴⁷² Gillispin kertomus vastaa modernin käsi-

⁴⁶⁸ Esko Aho (Historiallisia kertomuksia lukiolaisten kirjoittamina, 2002) selittää laajasti neljän perusjuonen kirjallista alkuperää. Kolmen alkuperän hän jäljittää Aristoteleen Runousopista ja neljännen, satiirin, alkuperä on roomalaisessa groteskissa yhteiskuntakriittisessä komediassa.

⁴⁶⁹ White omaksui käsityksensä kirjallisuudentutkimuksesta. Whiten kriitikot eivät hyväksy hänen relativismiaan. Esimerkiksi historioitsijat kritisoivat Whiten postmodernia näkemystä kaikkien tulkintojen samanarvoisuudesta. Tiedollisesti joitain tulkintoja pitää asettaa etusijalle. Van den Berg 2007, s.84–85.

⁴⁷⁰ Hayden White, *Metahistory* 1973, s. 9–11.

⁴⁷¹ Gillispie lainaa esipuheessa fyysikko James Clarck Maxwelliä: "...and we gladly return to the company of those illustrious men who by aspiring to noble ends, whether practical or intellectual, have risen above the region of storms into clearer atmosphere, where there is no misrepresentation of opinion, nor ambiguity of expression, but where one mind comes into closest contact with another at the point where approach nearest of truth." G. Gillipie, *The edge of objectivity* 1960, esipuhe.

⁴⁷² Kaunokirjallisuudesta voidaan löytää myös muita luokituksia luonnontiedettä koskeviin kertomuksiin. Jane Cartwright on tehnyt analyysin kaunokirjallisuuden erilaisista tiedekuvista ja löytänyt kahdeksan erilaista kategoriaa; Jane Cartwright, *Science and Literature: Towards a Conceptual Framework*, Cartwright, Science & Education, 2007. Zoubeida Dagherin ja Danielle J. Fordin artikkelissa *How are scientists Portrayed in Children's Science Biographies*, (Science & Education, 2005) tutkitaan koulukirjojen käsityksiä luonnontieteestä. Tutkimuksessa löydetään samanlaisia rakenteita kuin lapsille tarkoitetuista tiedemiesten elämänerroissa. Koulukirjojen mukaan tiedemiehet ovat syntyneet neroiksi, tieteellinen metodi on havainnointia, ja tiedemiehet elävät ilman suhteita yhteiskuntaan tai tie-

tystä tieteen vallankumouksesta: luonnontieteen voittokulku historiassa on ollut julma taistelu, jossa on jouduttu käyttämään ”objektiivisuuden leikkaavaa miekanterää” totuuden saavuttamiseksi.⁴⁷³ Luonnontieteen taistelu pimeyden voimia vastaan on ollut tuimaa. Onkin luontevaa, että kertomuksessaan Gillispie lainaa termejä sodankäynnistä: 1500-luvulla luodaan uuden tieteen ensimmäiset ”sillanpääasemat” ja voitetaan ensimmäiset luonnontieteen ”eturintamat”. 1800-luvulla Charles Darwin varmisti biologialle taas uuden sillanpääaseman, ja näin biologia seurasi fysiikkaa kohti objektiivisuutta. Clarkin analyysin mukaan eepin romanssin sankareilla, neroilla, oli aristokraattista karismaa, onnea ja nerokkuutta. Romanttiset sankarit eivät ahkeroi tavallisten ihmisten tapaan, vaan he taistelevat, seikkailevat ja ratkaisevat mahdottomia arvoituksia. Luonnontieteellä ja keksimisellä on itsetarkoitus. Luonnontiede on hengellistä harjoitusta vastakohtana ruumiilliselle työlle.

Kertomukset ja luonnontieteen suurmiehet, nerot, kietoutuvat eepisessä romanssissa kiehtovaksi kokonaisuudeksi.⁴⁷⁴ Clarkin mukaan luonnontieteen sankarit joutuvat maksamaan kovan hinnan keksinnöistään. Esimerkkeinä toimivat totuudenpuhuja Galilein julkinen nöyryytys inkvisition edessä ja Newtonin hermoromahdus *Principian* epäinhimillisen kirjoitusurakan uuvuttamana. Myös Darwinin⁴⁷⁵ ja Faradayn syvät masennustilat kertovat korkeasta hinnasta taistelussa, jonka nämä maskuliiniset ”yksinäiset ratsastajat” joutuvat maksamaan.⁴⁷⁶

”Pahimmillaan” (kerronnallisesti parhaimmillaan) valistuksen suuri kertomus ja moderni internalistinen luonnontieteen historia ovat juuri romanttisia sankarikertomuksia, jotka edustavat hyvyyden ja totuuden voittoa valheesta ja pahuudesta.⁴⁷⁷ Jopa tieteesosiologi Harry Collins (2006) hyväksyy modernin kertomuksen käytön luonnontieteen opetuksessa, koska sankaritarinalla on Collinsin mukaan *kasvatuksellinen merkitys*: ”Vanhempana on yksi keskeinen asia, jonka haluaisin opettaa lapsilleni, se on kuinka olla oma itsenäinen persoona ja vastustaa vertaisryhmän sosiaalista painetta. Luonnontieteen mytologiset tarinat opettavat tämän lapsille.”⁴⁷⁸ Galilein moraalinen integriteetti hänen taistellessaan totuuden puolesta toimisi siis hyvänä roolimallina opiskelijoille, jolloin luonnontieteen historia vertautuu opetettaviin satuihin.

deyhteisöön. Catherine Milnen havainnot oppikirjojen kertomuksista ovat samanlaisia; Milne, *Philosophically Correct Science Stories? Examining the Implications of Heroic Science Stories for School Science* 1998.

⁴⁷³ Luonnontieteen sankarit etsivät seikkailuja ja vaeltavat objektiivisuuden ”reittiä”. Objektiivisen tiedon terä on julma ja leikkaava: ”...Physics has been at the cutting edge of science since Galileo...Newton had to supplant Descartes in order to physics on the road mapped out by Galileo...” Clark 1995, s.31. Edelleen termistä ”the cutting edge of science”, Gillispie 1960, s. 44, ja myöhemmin ”the inhumane character of science”, Gillispie 1960, s. 54.

⁴⁷⁴ Matematiikan historiassa romanttinen eepinen kertomus on edelleen voimissaan. Amir Alexanderin mukaan se näkyy erityisesti 1800-luvun alun matemaatikkojen tiedemiestarinoissa. Amir Alexander, *Mathematics in Romantic Narratives and Refounding of Mathematics in the Early Nineteenth Century*, Isis 2006b. Romanttisia tarinoita löytyy Eric Temple Bellin kirjasta *Matematiikan miehiä* (suom. Klaus ja Helka Vala) 1963.

⁴⁷⁵ Hintaa oli vielä korkeampi Darwinin osalta. Gillispie ei mainitse salaperäistä sairautta, joka nakersi Darwinin työkykyä, Darwinin rakkaiden lasten kuolemaa tai puolison Emman ja Charlesin välejä kalvanutta kiistaa uskon ja agnostismin välillä; Janet Browne 1998 ja 2002.

⁴⁷⁶ Clark 1998, s.33.

⁴⁷⁷ Clarkin analysoima Galilein sankaritarina löytyy Gillispieltä 1960, s. 5. Gillispieen kirjan taustafilosofia on sama kuin tieteenhistorian pedagogilla Michael Matthewsilla (1994): HPS-opetuksen käsikirja kiteyttää luonnontieteen historian opetuksen kolmeen R:ään: ”Reason, Realism and Rationality”.

⁴⁷⁸ Harry Collins, *The Uses of Sociology of Science for Scientists*, Science & Education 2006, s. 9.

Luonnontieteen historian internalistinen tulkinta sisältää kertomuksen rationaalisen luonnon-tieteen kehityksestä. Koyrélainen tulkinta luonnontieteen historiasta sisältää myös eepin romanssin kertomuksen yksinäisestä, kontemplatiivisesta, platonilaisesta nerosta, joka suorittaa yksin uroteon ja avaa luonnon matemaattisesti koodatun kirjan länsimaiselle sivilisaatiolle.⁴⁷⁹ Luonnontieteen rationaalisen kehityksen suurin osa luonnontieteen historioitsijoista hyväksyy.⁴⁸⁰ Perustarinan romanttisen yksinäisen neron urotyöstä nykyaikainen luonnontieteen historia sen sijaan hylkää.

4.3.4 HENKILÖHISTORIAN UUSI TULEMINEN TIETEENHISTORIASSA

Tieteen suurmieshistorioilla on ollut monia merkityksiä. Yksi niistä on sosiaalinen tarve legitimoida uusi tieteenala ja toinen vakuuttaa tieteen noviisit tieteenalan merkityksestä.⁴⁸¹ Arnold Thackrey kutsuu suurmieshistoriaa tarpeeksi kanonisoida "tieteen pyhiä miehiä".⁴⁸² Jo tieteellisten instituutioiden varhaisvaiheessa 1600-luvulla esimerkiksi Royal Societyssa kunioitettiin Francis Baconia, Robert Boylea ja Galileo Galileita. Isaac Newtonista tuli jo eläessään palvottu auktoriteetti. Hänen "neroutensa" oli englantilainen kansallinen rakennusprojekti 1700-luvulla.⁴⁸³ Myös muiden valtioiden kansallinen historiankirjoitus on pyrkinyt nostamaan oman maan tutkijoita korkeimpaan "neroluokkaan". Henkilöhistoriallinen kiinnostus huippututkijoiden, nerojen persoonallisuuteen saattaa jättää varjoonsa varsinaisen luonnontieteen historiallisen tutkimuksen.⁴⁸⁴

Uusi tutkimustrendi on luonnontieteen historiallisten "nerojen" psykososiaalisia taustatekijöitä kartoittava tutkimus. Aloittajana tälle trendille voidaan pitää Sigmund Freudin Leonardo da Vinci -tutkimusta. Myös Frank Manuel käyttää psykoanalyttistä viitekehystä kirjassaan *The Portrait of Isaac Newton* (1968). Hän selittää Newtonin tieteellisen luovuuden rikkiäisen lapsuuden kautta. Uusimmista yleisistä historiallisista neroustutkimuksista voidaan mainita Dean Keith Simontonin *The Scientific Genius* (1988) ja Frank J. Sullowayn *Born to Rebel*

⁴⁷⁹ Theodore M. Porter, *Is the Life of the Scientist Scientific Unit?* Isis 2006, s. 315.

⁴⁸⁰ Luonnontieteen rationaalinen kehitys löytyy esimerkiksi Yhdysvaltain tiedejärjestö AAAS vuoden 1989 virallisissa luonnontieteen opetustavoitteissa; Michael Matthews, *Science Teaching, The Role of History and Philosophy of Science* 1994, s. 38. Tieteen sosiologi Steven Shapinin mukaan suuri osa luonnontieteen historiantutkijoista uskoo edelleen luonnontieteen kehitystarinaan: "Big pictures imply coherence, and, if historians of science still believe in old versions of scientific coherence (the conceptual unity and universality of science, narratives of rational and linear progress, a specifiable and efficacious scientific method), then most of us do so in a much more qualified sense than we once did. Others do not believe in such coherences at all—I am one of them—and therefore ways of composing a big picture demand not just steeling our nerves but a radical rethinking of the identity of our subject matter." Shapin, Isis 2005, s. 242.

⁴⁸¹ Tästä luonnontieteen historian ilmiöstä laajemmin R.G. Turner, *The History of Science and the Working Scientist*, teoksessa toim. Olby, Cantor, Christie ja Hodge 1990. Yliopistojen historiikeissa ja tiedemiesten muistokirjoituksissa törmätään usein tällaiseen historiankirjoitukseen. Myös Stephen Brush kirjoittaa kriittisesti teemasta artikkelissa *Scientists as Historians*, Osiris 1995.

⁴⁸² Arnold Thackrey, *History of Science*, teoksessa toim. P.E. Durbin 1984, s. 39.

⁴⁸³ Patricia Fara kuvaa Newtonin tiedemiesmyytin aktiivista luomista osana länsimaisen tieteen kehityskertomusta kirjassa *The Making of Genius* 2003. Newtonia kuvaavat kertomukset, kuvat, muistotaulut, piirroukset, vuosijuhlat, tiedemiesten lausunnot jne. muodostavat pohjan myyttiselle länsimaiselle nerohahmolle. Tähän nerokultin luomiseen myös Newton itse osallistui.

⁴⁸⁴ Allchin kirjoittaa henkilöhistorian vaaroista: "...usein (henkilöhistoriat) yrittävät inhimillistää luonnontieteen mutta nojautuvat esityksissään vain muutamiiin poikkeuksellisiin yli-inhimillisiin yksilöihin, joita poikkeuksetta ovat länsimaiset valkoiset miehet..." s.4. Douglas Allchin, *D. How Not to Teach History in Science*, Resource Center ships.umn.edu, 2000, <http://www1.umn.edu/shps/updates/hist-not.htm>.

(1996).⁴⁸⁵ Poikkeusyksilöiden psyyken historiallinen tulkinta kiinnostaa ihmisiä. Näissä psykohistorioissa ei kuitenkaan käsitellä luonnontieteen teoreettis-käsitteellistä kehitystä.

Henkilöhistoriallinen tulkinta luonnontieteen historiasta saavutti huippunsa Charles Coulston Gillispien monumentaalisessa kuusitoistaosaisessa luonnontieteen historian elämäkerrastossa, *The Dictionary of Scientific Biographies* (1970–1980). Aikakausjulkaisu *Isiksessa* suururakka sai aikanaan hyväksyvän vastaanoton. Tieteensosiologian näkökulma oli kuitenkin jo selkeästi esillä *Isiksen* kirja-arviossa 1980. Sorbonnen tieteenhistorian professori Jacques Roger kritisoi Gillispien toimittaman jättibiografian perustana ollutta historiallista tulkintaa. Rogerin näkemyksen mukaan luonnontieteen historian tulisi kiinnittää huomionsa tiedeyhteisöön, ei yksilöön. Lisäksi koyrélainen tulkinta johdattaa suurmiesten kirjallisen jäämistön tutkimiseen mutta jättää muut luonnontieteen historianlähteet huomioimatta.⁴⁸⁶ Tieteensosiologian perustellusta kritiikistä huolimatta ei henkilöhistoriallinen luonnontieteen historia ole hävinnyt vaan voimistunut nykyisessä tiedonvälityskulttuurissa. Erilaisten kansallisten suurmiesten vuosisataisjuhlinta synnyttää aina runsaan elämän kerrallispohjaisen kirjallisuuden ja televisio-ohjelmamateriaalin.

Vaikka henkilöhistoria oli pitkään ammattitutkijoiden mielestä vanhentunut näkökulma luonnontieteen historiaan⁴⁸⁷, käsitys on 2000-luvulla muuttumassa ja henkilöhistoriaan on löydetty historiallisesti uusia näkökulmia, joita valaisee *Isiksen* teemanumero *Focus* 2006. Tiedemiesien elämäkerrat ovat muuttuneet yhä enemmän poliittiseksi ja kulttuurihistoriaksi. James Secordin tunnustusta saanut kirja *Victorian Sensation* (2002) on esimerkki uudesta biografias- ta. Kirjan lähtökohta on luonnontieteen historian internalistisen kertomuksen ”häviäjän”, Robert Chambersin nimettömänä julkaisema spekulatiivinen varhainen luonnonhistorian evoluutiokertomus *Vestiges of The Natural History* (1844). Luonnontieteen teorian myöhemmän kehityksen vuoksi kirja jäi täysin Darwinin *Lajien synnyn* (1859) varjoon, vaikka oli aikanaan levikiltään kymmenkertainen Lajien syntyyn verrattuna. Chambersin populaari

⁴⁸⁵ Frank J. Sullowayn (Born to Rebel, 1996) lähtöhypoteesi on, että oikea syntymäjärjestys sisarusparveen synnyttää neroja, koska nerot ovat kapinallisia. Kuhnin vallankumoustulkinta on näkemyksen taustana: suuret vallankumoukset syntyvät suurten nerojen työn tuloksena ja ”uusi paradigma” herättää suurta vastustusta. Arkkiesimerkkinä kapinallisista tiedemiehistä Sullowaylla on Charles Darwin. Suurin epävarmuustekijä Sullowayn tutkimuksessa on se, millä historiallisella tulkinnalla hyväksytään jokin henkilö ”suurmieheksi”. Tieteensosiologia on purkanut nero-myyttiä tehokkaasti, eikä hyväksy tällaista ”aktori” -kategoriaa. Tiede on yhteisöllistä toimintaa. Sama kritiikki koskee Dean Simontonia (1989). Opetuksessa Sullowayn ja Simononin kirjat antavat hyvän lähtökohdan opetuskeskusteluun, koska ne virittävät keskustelun siitä, mitä lahjakkuus ja nerous oikein ovat ja mitä traditio ja yhteisö merkitsevät luonnontieteessä. Arnold Thackrey, ”The Great Man Studies”, teoksessa toim. P.T. Durbin 1984, s.39–40.

⁴⁸⁶ ”Postmoderni filosofia ei tarvitse subjekteja historioissaan. Kun tutkimme käsitteitä tai teorioita, niin silloin tutkimme metayksilöllisiä ilmiöitä (meta-individual).” Tässä Roger viittaa Michel Foucaultiin ja Thomas Kuhniin. Roger, *Isis* 1980, s.649–650.

⁴⁸⁷ Luonnontieteen historioitsija Thomas Hankins (In Defence of Biography: The Use of Biography in the History of Science, History of Science, 1979) ja F. L. Holmes (The Fine Structure of Scientific Creativity, History of Science, 1981) puolustavat biografoita, koska ne valaisivat luonnontieteeseen liittyvää luovuutta. Samaa näkökantaa puolustaa uudemmista historioitsijoista Theodore Porter artikkelissaan Is the Life of the Scientist a Scientific Unit? *Isis*, *Focus* 2006: ”Modern historians of science learn at the outset of their training not to be too hasty in judging the knowledge of the past against what we now believe. It would be well if we allowed also for more contingency in the habits and roles of scientists. These are produced not merely by training in a discipline but by all the circumstances, relationships, and expectations that structure their lives. A more inclusive form of biographical study can provide materials for a history of the scientist, a vital dimension of the history of reason in the world.” Porter, *Isis* 2005, s.321. Sosiaalihistoriallisessa tulkinnassa keksinnön synty, hyväksyminen ja leviäminen käyttöön on sosiaalinen ilmiö.

evoluutiotulkinta sai aikanaan kiinnostuneen, mutta myös tuomitsevan vastaanoton.⁴⁸⁸ Chambersin kirjan aikaansaama kohu vaikutti Darwinin viivytelyyn Lajien synnyn julkaisemisessa. Luonnontieteen historian ”häviäjän” näkökulma paljastaa uusia piirteitä 1800-luvun tiedekulttuurista ja liittää luonnontieteen kiinteästi tutkittavaan aikakauteen. Tällaisen kuvauksen pohjalta voi hedelmällisesti rakentaa kontekstuaalisen opetuspaketin, jossa sekä internalistinen että sosiaalinen kontekstuaalisuus saa sijansa.⁴⁸⁹

Luonnontieteen historiasta julkaistaan edelleen myös laajalevikkisiä henkilöhistorioita, joissa kerronnallisuus, juoni ja henkilöhahmot on nostettu etusijalle. Ne myyvät luonnontieteen historioista parhaiten. Tämä luonnontieteen historian kirjallisuuden laji on saanut ammattilaisilta happaman nimen ”the Sobelian effect”. Käsite viittaa suuren suosion saaneisiin Dava Sobelin kirjoihin *Longitude*, *The True Story of a Lone Genius who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time* (1995)⁴⁹⁰ ja *Galilein tytär* (1998). Ensimmäinen kirja kertoo sankaritarinan kelloseppä John Harrisonista, joka ratkaisi merenkulun kiperän navigointiongelman, pituuspiirin määrittämisen 1700-luvulla. Jälkimmäinen kirja taas kertoo luonnontieteen historian erään kuuluisimman episodin, Galilein oikeudenkäynnin, huolehtivaisen tyttären ja rakastavan isän koskettavana kertomuksena.

Vaikka Dava Sobelin kirjat sisältävät kaikki perinteiset narratiivin kertomuspiirteet, ne ovat sisällöltään luotettavia. Niiden henkilöhahmoja on terävöitetty ja juonta dramatisoitu. Kelloseppä Harrisonin tarina sai ristiriitaisen vastaanoton tukijoiden parissa. Historioitsija David Philip Miller tyrmäsi kirjan. Toisaalta luonnontieteen historioitsija James Casgoigne taas nosti kirjan esimerkiksi luonnontieteen historioitsijoille. Casgoignen mukaan luonnontieteen historioitsijoiden olisi opeteltava kirjoittamaan tutkimuksiaan siten, että niitä voivat lukea muutkin kuin alan erikoistutkijat.⁴⁹¹ Tasapainon löytäminen hyvän kertomuksen ja historiallisten tosiasioiden välille on vaikeaa. Luonnontieteen historioitsija Mary Jo Nyen on Casgoignen kanssa samaa mieltä. Hänen mukaansa on otettava huomioon, että biografiat ovat

⁴⁸⁸ James Secord kirjoittaa luonnontiedettä lukevan suuren yleisön näkökulmasta ja yhdistää kertomuksen 1800-luvulla syntyneeseen teolliseen massayhteiskuntaan. Näin hän saa uuden tutkimusnäkökulman luonnontieteen historiaan. James A. Secord, *Victorian Sensation, The Extraordinary Publication, Reception, and Secret Authorship of Vestiges of the Natural History of Creation* 2000, s.5.

⁴⁸⁹ Theodore Porter kirjoittaa uudesta kulttuurisista tiedemies elämänerroista artikkelissa *Is the Life of the Scientist a Scientific Unit?* Isis 2006, s. 315–316, seuraavasti: ”Following individual scientists is a fine strategy for demonstrating the wide scope of scientific activity. We find them not only conducting experiments, peering through microscopes, analyzing data, and building physical or mathematical models but also casting horoscopes, studying theology, seeking patronage, treating patients, advising monarchs or high functionaries, giving popular lectures, negotiating with publishers, writing grants, exploiting patents, and founding companies. The shifting patterns of these activities structure our historical understanding of science, and the development of history of science as a scholarly field might be summarized as a succession of endeavors to recognize new dimensions of scientific life.”

⁴⁹⁰ Sobel sai kirjastaan Yhdysvaltain National Science Foundationilta (NSF) kunniapalkinnon, perusteluna “...vivid and engaging writing about discovery and discoverers”; David Philip Miller, *The ‘Sobel Effect’*, *Metascience* 2002, s.195. Kirjan suosio avasi akateemisen kiistan, jossa Miller kritisoi Sobelia voimakkaasti. Millerin mukaan Sobelin suurin virhe on luonnontieteen historian yksinkertaistaminen. Millerin oman artikkelin nimenä onkin kitkerästi Sobelin kirjaa varioiden ”The Sobel Effect”. *The Amazing Tale of How Multitudes of Popular Writers Pinched All the Best Stories in the History of Science and Became Rich and Famous while Historians Languished in Accustomed Poverty and Obscurity, and how this Transformed the World*, Miller 2002, s.185.

⁴⁹¹ John Casgoigne myöntää, että Sobel on selvästi terävöittänyt kertomusta: luonut sankarin, etsinyt roiston, unohtanut tieteen sosiaalisuuden, mutta hän on tehnyt palveluksen luonnontieteen historialle, koska on saanut sadattuhannet ihmiset lukemaan ensimmäisen tieteenhistorian teoksensa. Siksi hänen mukaansa tutkijoiden olisi otettava Sobelilta oppia ja pyrittävä pois Shapinin mainitsemasta hyperprofessionaalisuudesta. John Casgoigne, *Getting a Fix*, Isis 2007, s.778.

luetuin ei-fiktiivinen kirjakategoria ja ne tarjoavat historioitsijoille mahdollisuuden tavoittaa suuri yleisö.⁴⁹² Nye näkee biografiat mahdollisuudeksi voittaa Shapinin mainitsema ”hyperprofessionaalisuus” luonnontieteen historiassa. Hän kutsuu John Heilbronin tapaan biografiaa ”soveltavaksi luonnontieteen historiaksi”, joka antaa mahdollisuuden tavoittaa laaja lukijakunta ja jolla on merkitystä myös luonnontieteen opetuksessa.⁴⁹³ Uudet biografiat ovat kuitenkin enemmän kulttuuri kuin henkilöhistoriaa.

Nyen muistutus koskee myös opettamista, koska luonnontieteen historian kertomukset on mahdollisuus tavoittaa oppilaat. Nyen ja Cascoignen mukaan tätä kanavaa ammattihistorioitsijoiden tulee käyttää. Luonnontieteen historiasta voi tulla todellinen osa historiallista yleisivistystä. Siksi on perusteltua olettaa, että historian opetuksessa tai NOS-teemoja opetuksessa henkilöhistoriaa ja tarinoita on syytä käyttää.⁴⁹⁴

4.3.5 HENKILÖHISTORIASSA HAVAITUT VÄÄRISTYMÄT

Tekniikan ja luonnontieteen historian piirissä esiintyneet vääristymät ovat samanlaisia. Usein ne ilmenevät itsepintaisina kysymyksinä, kuka teki tietyn keksinnön ja koska tämä innovaatio tehtiin. Vääristymän nimi on innovaatiokeskeisyys. Tekniikanhistoriassa ei itse keksiminen ole ollut historiallisesti merkittävä tapahtuma vaan keksinnön leviäminen, keksinnön päivittäinen käyttöönotto ja sen ylläpito. Tähän historiaan ei liity sankaritarinoita, ja siksi se näennäisen tylsänä helposti leikataan pois tieteen ja tekniikan historiosta. Keksintöjen historia näyttäisi erilaiselta, jos sitä tarkasteltaisiin enemmän maantieteelliseltä tai sosiologiselta kannalta kuin yksittäisen keksijän kannalta.⁴⁹⁵ Innovaatioiden keksimisajankohta ei suoraan kor-

⁴⁹² Mary Jo Nye, *Scientific Biography: History of Science by Another Means?* Isis 2006.

⁴⁹³ Mary Jo Nye kutsuu tätä kirjallisuuden lajia termillä ”soveltava luonnontieteen historia, aivan kuten John Heilbron aiemmin: “...the subject he called “applied history of science” and calling attention to the audiences for historians of science in general education, science education, and science policy. Steven Shapin worried about the hyperprofessionalism of many academic historians of science who fail to connect their own interests to those of a larger readership. As a genre of historical writing and analysis, scientific biography is an effective means for engaging readers in the struggles, successes, and failures of scientists crafting their own lives as they explore and construct knowledge of the natural world. Scientific biographies that are rich in science and that are engaging as lives can reach large audiences well beyond Shapin’s hyperprofessionals, and they have done so.” Nye, Isis 2006, s. 329.

⁴⁹⁴ Big Picture -keskustelu antaa hyviä vihjeitä luotettavista biografioista. Tieteensosiologinen kirjallisuus on taas erityisesti keskittynyt perkaamaan luonnontieteen historiasta myyttisiä tarinoita. Esimerkkinä hyvistä tieteellisistä elämäkertoista mainitaan Richard Westfallin kirja *Never at Rest* (1981) Newtonista ja Janet Brownen kaksiosainen perusteellinen Charles Darwinin elämäkerta *Voyaging* (1995) ja *The Power of Place* (2001) (Katso Mary Terrall, Isis 2006, s. 308; Nye, Isis 2006, s. 323). Kirjoissa luonnontieteen internalistiset ja eksternalistiset piirteet ovat tasapainossa ja niiden elämäkerrallinen osuus on asiallinen; Newtonista tai Darwinista ei yritetä tehdä ”myyttistä” tai ”hullua” neroa.

⁴⁹⁵ David Edgerton käsittelee tätä ongelmaa myös opetuksen kannalta; David Edgerton, *Ten Eclectic Theses of the Historiography of Technology, History of Technology*, 1999/16; David Edgerton, *The Shock of The Old, Technology and Global History Since 1900*, 2006. Keksiminen luonnontieteen ja teknologian yhteisenä tarkasteluna on osoittautunut hedelmälliseksi tutkimuskohteeksi. Sunhook Hong on asettanut ”välittävän kerroksen” näiden kahden tiedon aspektin väliin: kun tutustuu 1700-luvun jälkipuoliskon luonnontieteeseen, Kelvinin termodynamiikkaan, Liebigin orgaaniseen kemiaan tai Maxwellin elektromagneettiseen teoriaan, huomaa helposti, kuinka ”luonnontiede” löysi vaivattomasti tiensä teollisuuden ja teknologian sovellutuksiin. Hong hahmottelemat luonnontieteen ja tekniikan ”välittäjäsubjektit” muistuttavat Bruno Latourin hybridejä. Sunhook Hong, *Historiographical Layers in The Relationship Between Science and technology, History of Technology*, 1999. On huomattava, että luonnontieteen historian puolelta lähennytään samalla tavalla teknologian historiaa; Margaret Jacob *The Scientific Revolution, A brief History with Documents*, 2010 ja Margaret Jacob ja Larry Steward, *Practical Matter. Newton’s science in the service of industry and empire, 1687–1851*, 2004. Luonnontieteen historian uusissa yleisesityksissä huomaa selvästi,

reloi teolliseen tuotantoon. Usein vasta pitkällä viiveellä jokin keksintö alkaa levitä ja kasvat-
taa tuotantoa. Sähkön keksiminen on tästä hyvä esimerkki. Sähkön sovellusten käyttöönotto
edellytti sähkön jakeluverkon rakentamista. Yhdysvalloissa sähkö levisi käyttöön vasta maa-
ilmansotien välisenä aikana, ei suinkaan sähkön keksimisajankohtana 1800-luvun alkupuolis-
kolla. Sähköverkon rakentaminen ei aluksi tunnu kovin houkuttelevalta näkökulmalta tekni-
kan opettamiseen, vaikka se sellainen olisikin.⁴⁹⁶

Luonnontieteen historian tutkija Douglas Allchin on analysoinut luonnontieteen historian
opetuksen tyyppivirheitä. Tyyppivirheet ovat usein narratiivisen näkökulman tyyppillisiä tyyli-
keinoja. Hänen mukaansa historiallisen kertomuksen tekstissä ja kirjojen kuvissa annetaan
tiedemiehistä usein stereotyyppinen kuva. Allchin purkaa artikkelissaan viiden sankaritutkijan
myyttiset tarinat.⁴⁹⁷ Allchinin esimerkit ovat Mendel, Kettlewell, Fleming, Semmelweiss ja
Harvey. Hän erittelee luonnontieteen oppikirjoissa esiintyviä luonnontieteen historiallisia
heikkouksia: luonnontieteen historian keksinnöt esitetään mielellään lineaarisina tarinoina ja
usein korostetaan nerojen yli-inhimillisiä ponnisteluja, kärsivällisyyttä ja ylivoimaista metodia
("induktiivista, eksperimentaalista tai induktiivis-deduktiivista metodia").⁴⁹⁸

Allchinin mukaan esimerkiksi amerikkalaisissa oppikirjoissa Gregor Mendelistä annetaan
kuva, joka vahvistaa oppilaiden stereotyyppistä kuvaa luonnontieteestä.⁴⁹⁹ Tuon kuvauksen
mukaan:

että luonnontieteen yhteyksiä käytäntöön ja tekniikkaan halutaan korostaa; esimerkiksi Eden ja Cormackin teos
aiheesta on nimeltään *A History of Science in Society: From Philosophy to Utility* (2002) Edellä mainitussa kirjas-
sa 1800-luvulta lähtien häivytetään luonnontieteen yhteydet filosofiaan, kun taas talouden ja tekniikan yhteyksiä
vastaavasti korostetaan.

⁴⁹⁶ T.P. Hughes, *Networks of Power: Electrification of Western Society 1880–1930*, 1983.

⁴⁹⁷ Luonnontieteen opetustutkija Catherine Milne analysoi myös kertomuksia luonnontieteen oppikirjoissa. Hän löysi
neljä myyttisen kertomuksen tyyppiä ja kritisoi näistä erityisesti heroista kertomusta, joka sisältää seuraavat piirteet:
Kertomuksen päähenkilö on luonnontieteen sankari, vain miestutkijalla on rohkeutta ja määrätietoisuutta seisoa
luonnontiedettä vastustavia voimia vastaan, naistutkijat ovat taas raatajia, jotka tutkivat pikkuasioita puuduttavalla
pikkutarkkuudella ja luonnontieteen tietoa ei voi tukahduttaa, koska se on olemassa itsenäisenä tutkijasta ja se on
korkeinta tietoa verrattuna muihin tiedon muotoihin. Milne 1998, s.184.

⁴⁹⁸ Douglas Allchin 2003b, s. 331. Tyyppinen esimerkki oppikirjojen myyttisestä tekniikan historiasta on James
Watt nuoremman kertoma myyttinen tarina James Wattin perunakattilan tarkkailusta. Kattilan kannen liikkeistä
James Watt vanhempi sai James Watt nuoremman mukaan idean höyryvoiman käyttöön energian lähteenä. Kerto-
mus on yhtä yleinen kuin kertomus Newtonin omenasta. David Philip Millerin tutkimuksen mukaan kertomuksen
tarkoituksena oli esittää Watt suurena teknisenä nerona. Kattila toimi nuoren James Wattin heuristisena lähteenä
höyrykoneen kehittämiselle. Millerin mukaan Wattin kattilakokeet kerrotaan "tahallisesti" väärässä keksimiskonteks-
tissa. Kokeet liittyivät Wattin epäonnistuneisiin kokeisiin veden kemiallisen koostumuksen ratkaisemiseksi. Höyry-
koneen kehittämisessä Watt menestyi, kun taas veden koostumuksen selvittäminen oli tieteellinen epäonnistuminen.
Neroista ei epäonnistuneita projekteja mielellään kerrota, ja siksi tarina liitettiin vastoin tositahtumia höyrykoneen
kehittämiseen. Monissa kirjallisissa kuvauksissa ja maalauksissa nuoresta James Wattista tuleva nero hämmästyttää
vanhempiaan nerokkailla kattilakokeilla. Tällä tavoin vahvistettiin Wattin neromyyttiä. David Philip Miller, *True
myths: James Watt's kettle, his condenser and his chemistry*. History of Science 2004b.

⁴⁹⁹ Erich Knain on havainnut saman idealisaation norjalaisissa luonnontieteen oppikirjoissatiede nähdään yksilöllise-
nä yrityksenä, tiede kuvataan tiedemiesten sarjaksi ratkaisevia kokeita (crucial experiments), ja tiedeyhteisön sosiaa-
linen hyväksyminen korvataan totuuden "näkemisellä" (keksijä teki kokeen, teki havainnon ja totuus selvisi välittö-
mästi, yhteys tiedeyhteisöön jää selittämättä). Erich Knain, *Ideologies in school science textbooks*, International
Journal of Science Education 2001, s. 326.

– Mendel tutki herneitä omasta, sisäisestä tieteellisestä innoituksesta. Hän ei pyrkinyt saamaan mainetta tai taloudellista hyötyä vaan eli köyhänä ja vaatimattomana luostarissa. Tästä päätellään, että tiedemiehillä on puhdas tutkimusintressi, joka on rahasta tai kunniaa riippumaton.

– Mendel käytti herneitä tutkimusmateriaalinaan. Pitkäjänteisesti ja sinnikkäästi hän laski eri ominaisuuksien jakautumista populaatiossa. Tiedemies on siis sinnikäs, työteliäs ja käyttää menetelmänään kvantitatiivista tutkimusta ja havainnointia.⁵⁰⁰

– Mendel unohdettiin vuosikymmeniksi, mutta löydettiin uudestaan 1900-luvun vaihteessa. Juuri siten tiedemies joutuu usein taistelemaan ennakkoluuloja vastaan, mutta tieteessä totuus ja oikeus lopulta voittavat.⁵⁰¹

Allchinin mielestä tällainen epärealistinen kuva tiedemiehistä voi jopa toimia negatiivisena mallina: oppilas suorastaan lannistuu näiden yli-ihmisten yliveraisten urotekojen edessä.⁵⁰² Historiasta tulee ”suurten nerojen ja suurten aikojen” eskapistisen haikailun kohde. Tiedemiehet menettävät suuruudessaan inhimilliset piirteet; heistä tulee erehtymättömiä. Koska luonnontieteen kehitys käsitetään pelkkien onnistumisten prosessiksi, opettajat eivät käsittele mitään tieteeseen liittyviä negatiivista piirteitä. Tämä on tyyppivirhe, jota Butterfield kutsui ”whig-historiaksi”.⁵⁰³

Allchinin mukaan hyvin toimivan kertomuksen dynamiikkaan kuuluu myös pahuuden vastavoiman olemassaolo. Tätä kerronnallista keinoa käytti myös Dava Sobel kertoessaan John Harrisonin tarinan. Vastaaavissa kertomuksissa nerot ovat keskinkertaisten tutkijoiden ja ihmisten kateuden kohteita. Keskinkertaisuudet pyrkivät lannistamaan ”totuuden” löytäjän. Tämän koki esimerkiksi Galilei aristoteelikkojen taholta ja Newton mannermaisten karteesiolaiten ”haihattelijoiden” taholta. Allchinin mukaan on tutustuttava tarkemmin keksinnön aikalaiskritiikkiin (hyväksymiskontekstiin), sillä silloin nähdään, että kyse ei useimmiten olekaan pahansuovasta kritiikistä vaan asiallisesta, perustellusta kritiikistä tai kilpailevan koulukunnan tieteellisesti varteenotettavasta vaihtoehtoisesta teoriasta, jolla on järkevät lähtökohtansa.

Idealisaatiossa käytetään Allchinin mukaan kahta tyyppillistä menetelmää: kertomuksellista terävöittämistä ja tasoittamista. Mendelin ja Harveyn tapauksessa edeltäjät on tasoitettu pois ja ”sankareiden” panosta korostettu, jotta parannettaisiin hyvää tarinaa.⁵⁰⁴ Mendelin esimerkistä voi saada kuvan, että sitkeä oikean metodin uskollinen käyttö, kvantitatiivinen obser-

⁵⁰⁰ Catharine Milnen mukaan tässä luodaan ero nais- ja miestutkijoiden välillä: miehet ovat intuitiivisia keksijöitä, kun taas esimerkiksi Marie Curie on vain kurinalainen sitkeä puurtaja, joka jaksoi keskittyä pikkuasioihin ja jonka sinnikäs työ lopulta palkittiin. Tällainen roolimalli ei motivoi Milnen mukaan naisopiskelijoita luonnontieteen pariin. Milne 1998, s. 182.

⁵⁰¹ Douglas Allchin 2003b, s. 330.

⁵⁰² Myös Milne kritisoi voimakkaasti heroista kertomusta, jossa ”tiedemiessankari älynsä voimalla paljastaa ihmiskunnalle totuuden ja vapauttaa sen tietämättömyyden kahleista”. Milne 1998, s. 179.

⁵⁰³ Kyse ei ole presentismistä, jota on jossain määrin pakko käyttää opetuksessa. Historian opetuksessa on tarjottava monia vaihtoehtoja ja pyrittävä selittämään vaihtoehtoisten teorioiden rationaalisuutta. Whig-historiassa sen sijaan valitaan valmiiksi ”voittajan polku” (moderni kertomus, kansakunnan synty, sosialismin voitto, jne.).

⁵⁰⁴ Douglas Allchin 2003b, s. 344.

vointi, johtaa automaattisesti luonnonlakien löytymiseen. Usein, kuten Mendelin tapauksessa, vain onnistuneet kokeet mainitaan. Mendelin havaitsemat 15 epäselvää periytyvää piirrettä unohdetaan. Kyseessä on myös *naivi realismi*: kun oikeaa menetelmää käytetään, niin todellisuus paljastuu helposti.⁵⁰⁵ Kun ajatellaan monia nykyisiä vaikeita luonnontieteen ongelmia (ilmaston lämpeneminen, kylmäfuusio, ydinenergia, ravinto-ongelmat), oppilaan voi olla vaikea ymmärtää, miksi näiden ongelmien ratkaisu on niin vaikeaa, kun taas luonnontiede historiassaan vaikuttaa suoraviivaiselta.⁵⁰⁶ Tehokas kertomus kerrotaan yksinkertaisessa kronologisessa järjestyksessä, kun taas Allchin korostaa keksimiskontekstin verkkomaista luonnetta.⁵⁰⁷

Kertomukset eivät ole siis ainoastaan kertomuksia, vaan ne sisältävät tiettyjä metafysisiä sitoumuksia.⁵⁰⁸ Ne ovat myös ideologisia, sillä ne selittävät ja oikeuttavat luonnontieteen auktoriteettiaseman. Valistuksen suuri kertomus on nimeltään ”Kuinka tiede löysi totuuden”. Tämän ”whig-kertomuksen” olennaisia piirteitä Allchinin mukaan ovat:

- luonnontieteellä on *oma metodi*, joka ei ole riippuvainen satunnaisesta kontekstista ja arvoista,
- kaikki luonnontieteen *kokeet ovat hyvin suunniteltuja* eikä niissä satu virheitä,
- keksinnön tueksi saatu todistusaineisto on aina ongelmatonta, ja aina päädytään helposti kyllä/ei-vastauksiin,
- luonnontieteen saavutukset edellyttävät erityistä älyä (tiedemiehet ovat aivan erityislaatuisia ihmisiä).

Miten torjua tällainen pseudohistoria? Luonnontieteen historia on pikemminkin nähtävä jatkuvana prosessina kuin tiettyyn päätepisteen saavuttamisena (final form). Allchin antaa listan asioista, jotka tulisi ottaa huomioon luonnontieteen historian kertomuksia lukiessa ja niitä opetettaessa:

- epäile liiallista yksinkertaisuutta,
- ole varovainen vinjettien kanssa (elävöittävät kertomukset ja kuvat),

⁵⁰⁵ Milnen mukaan luonnontieteen oppikirjoissa sankareina esitellään erityisesti kokeellisen tutkimuksen tekijät: ”This approach privileges an experimentally-observational methodology of science. Therefore; many heroes of in science text books tend to be experimenters, or are represented as such.” Milne 1998, s.182. Tämä taas johtaa käsitykseen, että luonto lainmukaisine ilmiöineen vain odottaa kokeellista tutkijaa paljastamaan todellisuuden luonteen.

⁵⁰⁶ Luonnontieteen historian kertomukset sisältävät draamoista tuttuja keinoja, jotka Allchin (2003b, s. 350) listaa seuraavasti: keksimishetken tarjoama jännitys, todistaminen (totuus paljastuu, valheen tai väärän opin huntu pudotetaan totuuden edestä), sattuman tarjoama yllätys, integriteetin palkinto (usko omiin todisteisiin, sosiaalisten ennakkoluulojen voittaminen), häpeä vastustajille, jotka haastoivat lopulta oikeaksi osoittautuneet teorian ja traaginen ironia.

⁵⁰⁷ Steven J. Harris, *Networks of Travel, Correspondence, and Travel*, teoksessa toim. Karherine Park and Lorraine Daston 2006, s.341–362; myös David S. Lux ja Harold J. Cook, *Closed Circles or Open Networks? Communication at a Distance During The Scientific revolution*, *History of Science* 1998, s.180–211.

⁵⁰⁸ Milne 1998, s.184.

- painota opetuksessa kompleksisuutta ja vastakohtaisuutta,
- välttä romantisoituja henkilöähahmoja,
- älä paisuta neroutta,
- sisällytä keksimisen ylistykseen (aikalaisten perusteltua) kritiikkiä.⁵⁰⁹

Oikeastaan se, mitä Allchin perustellusti painottaa, on *kontekstuaalinen luonnontieteen historian opetus*.⁵¹⁰ Tällöin irrottaudutaan suurmieshistorioista ja yksinkertaistavista kertomuksista ja esitetään internalistinen ja eksternalistinen luonnontieteen historia sopivassa suhteessa toisiinsa. Historian opetuksessa olisi hedelmällistä, jos jokin keskeinen historian episodi käsitellään ”kunnolla”, jolloin historiallista kontekstia voidaan valaista mahdollisimman rikkaasti.

Luonnontieteen mahdollisuuksia on edellä tutkittu aluksi yleisellä tasolla ja tarkasteltu luonnontieteen opetuksen uudistuspyrkimyksiä NOS-opetuksessa. NOS-opetuksen keskeinen opetuskeino on luonnontieteen historia. Luonnontieteen historian käyttö opetuksessa on synnyttänyt kaksi opetustraditiota, HPS- ja STS-opetuskokeilut. Myös luonnontieteen historian tutkimusyhteisö on välillisesti ottanut kantaa tieteen luonteen opetukseen sekä luonnontieteen historian yleiskuvan (Big Picture) problematiikan että luonnontieteen historian yleisesitysten kautta. Tämänkin keskustelun lopputulos on, että HPS- ja STS-opetuksen takana olevat luonnontieteen historian traditiot tulee sisällyttää luonnontieteen historian yleiskuvan opettamiseen.

NOS-liikkeessä luonnontieteen historiaa käyttävät tutkijat tukevat yleiskuvatutkimusta, koska he toivovat luonnontieteen historian tiedeyhteisöltä ajanmukaista kirjallisuutta HPS- ja STS-opetukseen käytettäväksi pedagogisiin tarkoituksiin. Luonnontieteen historian tutkijat ja NOS-kokeilijat ovat yhtä mieltä siitä, että luotettava luonnontieteen historian yleiskatsauskirjallisuus on tarpeen, jotta välttyttäisiin opetuksen päämäärien kannalta epätarkoituksenmukaisilta luonnontieteen historian tulkinnoilta, joita voidaan luonnehtia yleisesti *myyttiseksi historiankirjoitukseksi*.

4.4 DESIGN BASED RESEARCH -TUTKIMUS ELI KEHITTÄMISTUTKIMUS

Tämän väitöstutkimuksen tavoitteena on kehittää lukion historian opetusta luonnontieteen historian osalta. Tällaista käytännön opetuksen kehittämiseen suuntautuvaa tutkimusta kutsutaan Design Based Research -tutkimukseksi tai lyhyesti design-tutkimukseksi eli kehittämistutkimukseksi.

Tämä kehittämistutkimus perustuu luonnontieteen historian opetuksen teoreettiselle tarkastelulle, joka on suoritettu edellisissä luvuissa. Teorian perusteella konstruointiin piirteet, jotka ovat ominaisia hyvälle luonnontieteen historian kuvaukselle. Tämän kuvauksen kohderyhmä on luonnontieteen historian aloittelija tai opiskelija. Analyysin perusteella on päädytty kolmeen luonnontieteen historian sisällönkehittämispilariin, I (internalismi), E (eksternalismi) ja

⁵⁰⁹Allchin 2003b, s. 344.

⁵¹⁰Myös Milne 1998, s. 182.

N (narratiivit). Pilarien I ja E kautta asetetaan luonnontieteen historian opetukselle päämäärät, jotka kuvataan seuraavassa asetelmassa.

Asetelma 2: Luonnontieteen historian opetuksen tavoitteet

<i>Näkemykset I- ja E-pilareista</i>	<i>I</i>	<i>E</i>
<i>Luonnontieteen opetuksen tutkijat ja tieteen luonne.</i> <i>Luonnontieteen historian tutkimusyhteisö.</i>	Luonnontieteen käsite- ja teoriamuutosten ymmärtäminen. Tasapainoinen yleiskuva luonnontieteen historiasta. Sisältää internalistisen tulkinnan ja eksternalistisen tulkinnan. Kontekstuaalinen internalistinen kuvaus luonnontieteen historiasta.	Luonnontieteen yhteisöllisen luonteen ymmärtäminen, tiedon ja vallan suhteen ymmärtäminen Tasapainoinen yleiskuva luonnontieteen historiasta. Sisältää internalistisen ja eksternalistisen tulkinnan. Luonnontiede sijoitettava aina oman aikansa yhteiskunnalliseen asiayhteyteen.
<i>Millainen sovellus opetukseen?</i>	Keskeisistä luonnontieteen teorioista tai maailmankuvista on laadittava kontekstuaalinen opetusversio. Jokin historian keskeinen episodi opetetaan riittävän rikkaasti, jotta opetukselliset hyödyt saadaan käyttöön.	Luonnontiedettä on kuvattava sosiaalisena instituutiona, sen suhde valtajärjestelmään osoitettava. ⁵¹¹ Luonnontiede kuvattava historiallisena prosessina johon liittyy tieteellisten maailmankuvien dialogi, paikallisuus ja epävarmuus. Jokin esimerkki luonnontieteen erehtyväisyydestä, sekä esimerkkejä luonnontieteen ja teknologian vuorovaikutuksesta.

Narratiivi-pilari on välineellinen, ja sen kautta pyritään saavuttamaan päämääriä, joita I- ja E-pilareissa asetetaan. Kertomukset tulee valita niin että, ne tukevat I- ja E-pilareissa asetettuja opetuksellisia ja sisällöllisiä päämääriä.

⁵¹¹ Makrososiologia käsittelee luonnontiedettä instituutiona, luonnontieteen vertaisarviointijärjestelmää, luonnontieteellisen tiedon välittymistä, kilpailujärjestelmää, palkitsemista, rahoitusta, luonnontieteen normijärjestelmää (perinteisiä mertonilaisia "heikon ohjelman" teemoja) ja erityisesti 1900-luvun luonnontieteeseen liittyviä "Big Science" -piirteitä.

Asetelma 3: Miten valita sopivia kertomuksia luonnontieteen historian opetukseen?

<i>N-pilari</i>	<i>I-pilari</i>	<i>E-pilari</i>
<i>Luonnontieteen opetuksen tutkijat ja tieteen luonne. Yleisesti: kertomukset väline tehokkaaseen oppimiseen</i>	HPS-kokeilut, modernia kertomusta käytettävä (esim. Matthews 1994). STS täydentävä näkökulma.	STS-kokeilut, painotettava opetuksessa tieteen sosiologiaa (esim. Allchin 2004). Moderni kertomus vain yksi näkökulma.
<i>Luonnontieteen historian tutkimusyhteisö. Yleisesti: henkilöhistoriallisia kertomuksia voidaan käyttää kulttuurihistoriana</i>	Tieteen vallankumous opetettava esimerkkinä modernin tieteen erityispiirteistä ja saavutuksista.	Tieteen sosiologia antaa rajat ja kriittisen näkökulman modernille kertomukselle. Luonnontieteen yhteiskunnallisuus kertomuksena erityisen tärkeä 1800- ja 1900-lukujen kuvauksessa.
<i>Opetuksessa suositeltavat kertomukset (N)</i>	Historiallisesti adekvaatit kertomukset: kertomukset suunnattava opetuspäämäärien mukaan. Modernin kertomus opetettava niin rikkaasti, että sen opetusselliset hyödyt saadaan käyttöön.	Historiallisesti adekvaatit kertomukset: kertomukset suunnattava opetuspäämäärien mukaan. Keskeiset kertomuspiirteet ovat esimerkkejä luonnontieteen historian sosiologisesta näkökulmasta: keskeistä mikrososiologiaa sekä makrososiologiaa kuvaavat kertomukset ja esimerkki tieteen epäonnistumisesta.
<i>Vältettävät, myyttiset kertomukset (V)</i>	Vanhat luonnontieteen historialliset tulkinnat (V): valistuksen suuri kertomus, katteeton suurmieshistoria ja positivistinen tulkinta.	Vanhat luonnontieteen historialliset tulkinnat (V): valistuksen suuri kertomus, katteeton suurmieshistoria ja positivistinen tulkinta.

Design Based Research -tutkimusta (DBR-tutkimusta) on tehty eri oppiaineista erityisesti matematiikassa ja luonnontieteissä.⁵¹² Kehittämistutkimuksissa pyritään jäsentämään teoreet-

⁵¹² DBR-tutkimus on matematiikan opettamisen tarpeeseen luotu menetelmä. Kehittämistutkimus nimitystä on käytetty 1990-luvun alusta lähtien. Vaikka kehittämistutkimus on kasvatustieteilijöiden keskuudessa uudehko menetelmä, sen käyttö on lisääntynyt viime aikoina suomalaisten matematiikan, teknologian ja luonnontieteiden opetuksen tutkijoiden piirissä; esim. Aksela 2005, Juuti 2005 ja 2006 ja Asikainen 2006. Kehittämistutkimuksen synonyymejä ovat design experiments, developmental reserch, formative reserch, didactical engineering, design research, user

tisesti ja käsitteellisesti jokin opetussuunnitelmien tai opetuksen tasolla oleva puute tai ongelma sekä löytämään sille ratkaisu. Ongelman määrittämisen jälkeen tutkijaryhmä, joka yleensä koostuu tutkijoista ja opettajista, keskustelelee ja päättää tavoitteista opetuksen muokauskokeilulle sekä laatii suunnitelman niiden saavuttamiseksi. Uusia opetusratkaisuja koetellaan testaamalla niitä autenttisessa opetustilanteessa.⁵¹³ DBR-tutkimuksessa uusien opetusratkaisujen testausta voidaan edelleen jatkaa ja ratkaisuja muuttaa kokeilussa saatujen kokemusten ja tilannetekijöiden vaatimusten mukaisesti.

Käytännön opetustilanteessa tehtävä DBR-tutkimus ei voi saavuttaa objektiivisuuden, toistettavuuden tai yleistettävyyden ihanteita perinteisessä mielessä. DBR-tutkija C. Bereiterin (2002) mukaan kehittämistutkimus on usein visionääristä.⁵¹⁴ Tällöin se on myös normatiivista, koska se ei tutki vain, miten asiat ovat, vaan se pyrkii vastaamaan paljolti kysymykseen, miten asioiden *tulisi olla*. Tässä väitöstutkimuksessa ”visionääriin” päämäärä vastata kysymykseen ”millaista luonnontieteen historian opettamisen tulisi olla?” osoittautui vaikeaksi tutkimuksen vaiheeksi, ja siitä tulikin eräässä mielessä tutkimuksen painopiste. Tämän voi nähdä muun muassa tutkimuksen rakenteesta: tavoitteen hahmottamiseen on käytetty paljon tilaa. Itse tutkimuskysymys oli kiteytynyt jo aiemmin harjoittelukoulun opettajan työssä, jossa opetusharjoittelua ohjattaessa keskeinen kysymys on: mitä historiasta, ja spesifimmin muun muassa luonnontieteen historiasta, tulisi opettaa? Tutkimuksessa tätä visionääristä päämäärää pyrittiin luonnontieteen historian osalta hahmottamaan monesta näkökulmasta. Tavoitteena oli luoda käsitys siitä, mitkä ovat luonnontieteen historian opetuksen päämäärät sekä miten opettamisen päämääriin voitaisiin päästä. Luonnontieteen opetuskokeilut antoivat pohjaa näiden kysymysten tutkimukseen, ja myös luonnontieteen historian tutkimusyhteisö on ottanut kantaa niihin.

Koska DBR-tutkimuksen päämäärä on käytännöllinen, on tärkeää, että saavutettuja tutkimustuloksia testataan koko ajan käytännössä. Samanaikaisesti visionäärisen analyysin kanssa kehitettiin (*design*) käytännön opetukseen *artefaktia*, joka tulisi opetusmateriaalina antamaan opiskelijoille parempia oppimisen mahdollisuuksia ja myös parantamaan opettajien opetusta. DBR-tutkimuksessa ei pyritäkään etsimään yleisiä (nomoteettisia) lainalaisuuksia, mutta siinäkin tavoitellaan *käytännöllistä yleistettävyyttä*. Tutkimus ei voi jäädä vain yksittäistapaukseen kuvaavaksi ”anekdootiksi”. DBR-tutkimuksessa yleistämisen mahdollisuus perustuu vahvaan teoriapohjaan ja tutkimuksen käytännönläheisyyteen.⁵¹⁵ Tämän vuoksi tässäkin tut-

design research ja design based research. Feng Wang ja Michael Hanafin, Design-Based Research and Technology-Enchanced Learning Environment 2005, s. 7.

⁵¹³ Kalle Juuti (2005) Towards Primary School Physics Teaching and Learning: Design Research Approach, s.22. Käytäntö ja teoria ovat tässä tutkimuksessa muodostuneet seuraavasti: Opettajaryhmän kanssa on kehitetty luonnontieteen historian sisältöjä Helsingin normaalilyseon tieteellisen maailmankuvan kurssilla. Tämän ryhmän kanssa on kehitetty tiedeopetusta ja luonnontieteen historian käyttöä jo kymmenen vuotta. Ryhmä on edustaa oppiaineita yli oppiainerajojen: Lasse Hongisto ja Virpi Seppälä-Pekkala ovat edustaneet humanistisia tieteitä ja Timo Kärkkäinen luonnontieteitä. Tutkimusta ohjanneen taustaryhmän kanssa on taas keskusteltu kurssin sisältöjen kehittelystä ja käytännön sovellutuksista ja tutkimuksen luonnontieteellisestä juonteesta ja design-tutkimuksen teoriasta.

⁵¹⁴ Bereiterin (2002) mukaan design-tutkimuksen (design research) ominaisuuksia ovat seuraavat piirteet: 1. Tutkimus tapahtuu tiiviissä yhteistyössä toimijoiden kanssa. Tutkimus on osa designprosessia. 2. Se on opetuksellinen interventio ja siinä pyritään saamaan aikaan muutos. 3. Tavoitteena on ratkaista ongelmia, jotka ovat, muotoiltu havaittujen epäkohtien pohjalta. 4. Tutkimuksen päämäärä on emergentti, se kehkeytyy tutkimus syklien aikana. 5. Design-tutkimus on visionääristä, mahdollisuuksia pohtivaa ja testaavaa. Bereiter, Design research for sustained innovation, Cognitive Studies, Bulletin of the Japanese Cognitive Science Society 2002, 321–327.

⁵¹⁵ Hassinen, Seija (2006), Ideaalitöistä koulualgebraa, Helsingin yliopiston tutkimuksia 274, s. 36.

kimuksessa opetuksen muokkauksen perusteet kirjoitettiin mahdollisimman kattavasti auki ja tehtiin kaksi opetuksellista kokeilua. Kokeiluja edelsivät Helsingin normaalilyseon tieteellinen maailmankuva -kurssilla tehdyt luonnontieteen historian opetuksen alustavat pienryhmäkokeilut Normaalilyseon opettajaryhmän kanssa.

Opetustutkimuksen lähtökohta on usein käytännön opetuksen lähtötilanne, jossa kumpikaan – tutkija tai opettaja – ei tiedä, kuinka toimia. Opetuksen käytännölliset kysymykset paljastuvat usein vaikeiksi ja laajoiksi.⁵¹⁶ DBR-tutkimus sopii menetelmänä hyvin juuri niiden tutkimiseen. Opetus–oppiminen on vuorovaikutustilanne ja tietoteoreettisesti vaikea tutkia, koska teoriaa ja käytäntöä ei tietoteoreettisesti voi erottaa toisistaan.⁵¹⁷ Oppimista ja opettamista voidaan tutkia ”lähtemällä opetuksen keskeltä”. Tutkimuksen alkuvaiheessa tutkijalla ja opettajalla oli vain alustava strategia ongelman ratkaisemiseksi, ja ongelman analysoimiseksi tarvitaan uutta kontekstiin liittyvää tutkimusta.⁵¹⁸ Tutkimuksen alussa on hyväksyttävä tilanteen epämääräisyys ja oltava valmis muuttamaan tai jopa hylkäämään alustava strategia. Tässä tutkimuksessa tutkittiin luonnontieteen historian opettamista ja aluksi käytettiin tieteen luonteen tutkijoiden eli NOS-tutkijoiden luonnontieteen historian opetuskokeiluja ja niissä käytettyjä kysymyspattereita. Tämä suunta ei kuitenkaan palvellut erityisesti *historian* opettamisen kehittämistä, vaikka oppilaille tehdyistä tieteen luonnetta koskevista kysymyksistä saatiin myös tietoa oppilaiden käsityksistä luonnontieteen historiasta. Tutkimusstrategiaa siis muutettiin. Historian opettamisen kehittämisen kannalta käytännöllisempää oli käyttää kokeilun materiaalina perinteisiä esseevastauksia. DBR-tutkimuksessa onkin tavallista, että niin teorian kuin käytännön osalta joudutaan tutkimusprosessin aikana hylkäämään aiempia lähtökohtia ja yrittämään uudelleen.

DBR-tutkimusryhmä joutuu usein ylittämään eri tieteenalojen raja-aitoja. Opetuksen muokkaajaa on kutsuttu ”askartelijaksi” (*bricoleur*), henkilöksi joka on kätevä (*handy or tinker*) ja joka käyttää kaikkea mahdollista materiaalia ja tietämystä (*a theory-guided bricolage*).⁵¹⁹ Tämän tutkimuksen tietoteoreettinen ongelma on ollut ylittää oppiaineiden historia ja luonnontiede välinen raja-aita: luonnontieteen historian opetus- ja materiaalikoikeilut on aikaisemmin tehty luonnontieteiden opetuksessa, mutta tässä haluttiin tutkia luonnontieteen historian opettamista oppiaineen historian puitteissa ja historian opettamisen syventäjänä.

Käytännöllinen ongelma on tässä tutkimuksessa ollut siis, mitä luonnontieteen historiasta pitäisi opettaa lukiossa. Lukion opetussuunnitelmista, kurssikuvauksista ja oppikirjoista nähdään, että luonnontieteen historian opetuksellinen potentiaali on vajaakäytössä suomalaisessa

⁵¹⁶ P. Ristelä ja O. Kivelä (2001) toteavat kirjassaan pragmatismen klassikoista seuraavaa: ”...pragmatistien mukaan tiedonhankinnan ja tutkimuksen lähtökohtana on aina ongelmallinen tai epäselvä tilanne...” Työn aikana on oltava valmiina jatkuviin muutoksiin ja siinä käytetään... ”oman tieteellisen tradition parhaita tekniikoita, toimintatapoja ja käytäntöjä.” Ristelä ja Kivelä 2001, s. 111.

⁵¹⁷ Juuti ja Lavonen (2006), *Design-Based Research in Science Education: One Step Towards Methodology*, s. 55.

⁵¹⁸ DBR on prosessorientoitunutta: ”... a black box model of input-output measurement is avoided; the focus is on understanding and improving interventions.” van den Akker, Gravemeijer, McKenney & Nieveen, *Introduction to educational design research*, teoksessa toim. Van den Akker, Gravemeijer, McKenney ja Nieveen, *Educational Design Research 2006*, s. 4. DBR on käytäntösuuntautunutta tutkimusta: ”... the merit of a design is measured, in part, by its practicality for users in real contexts.” van den Akker, Gravemeijer, McKenney & Nieveen, *Introduction to educational design research*, teoksessa toim. Van den Akker, Gravemeijer, McKenney and Nieveen, *Educational Design Research 2006*, s. 3.

⁵¹⁹ K. Gravemeijer ja Paul Cobb, *Design research, from a learning design perspective*, teoksessa toim. Van den Akker, Gravemeijer, McKenney ja Nieveen, *Educational Design Research 2006*, s. 50.

lukiossa ja luonnontieteen historiaa koskeva näkökulma on opetuksellisesti vanhentunut. Siksi sitä tulisi kehittää. Analyysin tavoitteena oli selvittää, *miten* sitä tulisi kehittää. Analyysin kohteena oli luonnontieteen historiaa koskevien tulkintojen kehitys, ja analyysin pohjalta konstruointiin kolme sisältökokonaisuutta, jotka nimettiin kehittämispilareiksi. Nämä kehittämispilarit osoittivat suunnat, joihin opetusmateriaalia olisi syytä kehittää.

Edelsonin (2002) näkemyksen mukaan DBR-tutkimus ei ole ainoastaan suunnittelutiedettä. Tässä tutkimuksessa on otettu ensimmäiset askeleet kohti didaktisen luonnontieteen artefaktin kehittämistä.⁵²⁰ Normatiivisen tiedon lisäksi didaktisen artefaktin kehittämiseen nojautuvassa tutkimuksessa saadaan myös *kuvailevaa, deskriptiivistä* tietoa, tietoa design-käytännöstä eli siitä, miten opetusmateriaalia muokataan ja millä perusteilla.⁵²¹ Tässä tutkimuksessa muokausperusteita on etsitty laajalti opetussuunnitelmista, opetuskokeiluista, historiantutkijoiden periaatteellisista kannanotoista ja luonnontieteen historian yleistöksistä. Kasvatuksen ongelmat ja haasteet ovat tyypillisesti niin monimutkaisia, että niihin ei ole kirjallisuudesta löydettävissä deskriptiivistä tietoa, joka olisi muokattavissa käyttökelpoisiksi normatiivisiksi toimintaohjeiksi. Tämän selvitystyön suorittamista luonnontieteen historiassa voidaan pitää yhtenä tutkimustuloksena.

Pragmatistiseen perinteen mukaan käytännön ja teorian on yhdistyttävä.⁵²² Tällainen lähtökohta sopii hyvin opettamisen ja oppimisen tutkimukseen. Olennainen artefaktin arvioinnin keino on opettajan ja tutkijan yhteinen reflektointi todellisessa opetustilanteessa (tai käytännössä sen jälkeen).⁵²³ Opetuskokeilu ei ole näin enää yksilön kokemus, eikä se saa jäädä irralliseksi kokeiluksi, vaan sen tulee syventyä ja laajentua, jolloin sen kautta saadaan tietoa opetuksesta, opiskelusta ja oppimisesta.

Tässä kehittämistutkimuksessa ei ole kysymys jonkin tieteenalan tutkimuksesta vaan opetuksesta. Kyse ei ole totuudesta, vaan nykyisen vallitsevan tilanteen parantamisesta. Edelson (2002) korostaa, että kehittämistutkimusta tulisi arvioida siitä, kuinka hedelmällisesti tutkimuksessa saatu tieto auttaa selittämään opetuksen ilmiöitä. Joskus kehittämistutkimuksessa päädytään tilanteeseen, jossa todetaan, että valittu kehittämissuunta on hedelmätön, ja tällöin on syytä hylätä artefakti.⁵²⁴ DBR-tutkimuksen ongelmat ovat sen luontoisia, että vaikka opetuskokeiluun tuotetun artefaktin testaus olisi menestyksekkäs, siitä ei voida välttämättä päätellä, että opettajat ja tutkijat olisivat ratkaisseet ongelman lopullisesti, vaan että heillä on parantunut ymmärrys ongelmasta.⁵²⁵ Tämänkin projektin alussa on tehty ensin joukko suhteellisen

⁵²⁰ Juutin ja Lavosen (2006) mukaan DBR tutkimuksessa on kolme peruspiirrettä: se johtaa artefaktiin, se on iteratiivista, sekä tutkimus johtaa uuteen opetukselliseen tietoon (educational knowledge), s.65.

⁵²¹ Edelsonin mainitsemat design-tutkimuksesta saatavat kolme lisääntyneen tiedon tasoa ovat: 1) normatiivinen tieto menestyksekkään kehittämisprosessin piirteistä, 2) normatiivinen tieto menestyksekkään didaktisen artefaktin piirteistä sekä 3) deskriptiivinen tieto opetus-opiskelu-oppiminen -prosessista. Edelson, Introduction to educational design research, teoksessa toim. Van den Akker, Gravemeijer, McKenney ja Nieveen, Educational Design Research, 2006, s. 3.

⁵²² Van den Akker, Gravemeijer, McKenney & Nieveen, 2006, s. 3. Myös Feng Wang ja Michael Hanafin 2005, s. 9, sekä Sasha Alexander Barab ja April Lynn Luehmann, Building Sustainable Science curriculum: Acknowledging and Accommodating Local Adaptation, Science Education, 2003, s. 464.

⁵²³ Design tutkimus on luonteeltaan interventionaalista. "...the research aims at designing an intervention in the real world", van den Akker, Gravemeijer, McKenney & Nieveen. Introduction to educational design research, teoksessa toim. Van den Akker, Gravemeijer, McKenney ja Nieveen, Educational Design Research 2006, s. 3.

⁵²⁴ Bell, Hoadley & Linn, 2004, s. 83.

⁵²⁵ D. Walker, Why now? Teoksessa toim. Van den Akker, Gravemeijer, McKenney ja Nieveen, 2006, s. 14.

rajattuja ongelmaa kartoittavia tutkimuksia. Nämä tutkimukset seurasivat syklisesti toisiaan, ja niiden perusteella pyrittiin tekemään muutoksia opetusmateriaaliin ja opetukseen, jotta pystyttäisiin etenemään tutkimuksen visionääristen tavoitteiden suunnassa. Sykliä myötä tutkijaryhmälle alkoi kehkeytyä käsitys, mihin opetuksessa olisi pyrittävä ja millainen materiaali olisi tavoitteisiin nähden otollista.⁵²⁶ Tuloksena siis muodostui käsitys, miten luonnontieteen historian opetusmateriaalia tulisi kehittää ja toisaalta mitä ovat ne rajoitukset, jotka estävät tasapainoisen luonnontieteen historian yleiskuvan saavuttamisen lukio-opetuksessa.

Jokaista opetuskokeilusykliä seurasi työryhmän reflektio ja artefaktia pyrittiin parantamaan. Näin muokattua uutta parannettua versiota kokeiltiin taas käytännössä, ja sitä seurasi taas reflektointivaihe.⁵²⁷ Didaktisen artefaktin kehittämiseen nojautuvassa tutkimuksessa tieto on konstruktio, joka muodostuu opetus–opiskelu–oppiminen-prosessissa ja siinä tapahtuvassa vuorovaikutuksessa. Pragmatismen klassikko John Dewey kuvaa tutkimusta osuvasti: ”Tutkimus etenee refleктоimalla, ajattelemalla, mutta ajattelu ei missään tapauksessa tarkoita perinteen mukaista ’mieleen’ suljettua ajattelua. Kokeellinen tutkimus tai ajattelu tarkoittaa suunnattua toimintaa. Siinä muunnellaan olosuhteita, joissa objekteja havainnoidaan ja koetaan suoraan. Havaitut asiat tuovat mieleen tiettyjä tapoja reagoida niihin ja käsitellä niitä (alun perin ne vain toimivat heräkkeinä ja ärsykkeinä)”⁵²⁸. Sekä analyysivaihetta että kokeilukertojä seurasi tulosten reflektointi. Reflektointi sisältää erityisiä vaihteita: havainnointi, kokemuksen tarkka kuvailu, kokemuksen analysointi, joka sisältää selitysten muodostamisen ja teorian kehittelyn ja koettelemisen.⁵²⁹ Opettajan ja tutkijan välinen vuoropuhelu, reflektio, jatkuu useita kierroksia, ja tuloksia tarkastellaan yhteisesti sen kannalta, onko kokeilussa edetty asetettujen päämäärien suunnassa.⁵³⁰

Keskeinen design-tutkimuksen arviointiperusta on, miten saavutetaan kestäviä (*sustainability and robustness*) tuloksia tyypillisissä luokkahuoneissa.⁵³¹ Saavutettujen parannusten pysyvyys on NOS-tutkimusten mukaan luonnontieteen historian opettamisen kehittämisen heikkous. Tutkimuksissa on havaittu, että kestävät tulokset vaativat pitkäjänteisyyttä ja opetus-kulttuurin laajamittaista muutosta: muutoksia opetussuunnitelmissa, opettajankoulutuksessa, opettajan oppaissa, oppikirjoissa ja muissa opetusmateriaaleissa. Tätäkin kehittämistutkimusta on pidettävä keskeneräisenä.

⁵²⁶ Van den Akker, Gravemeijer, McKenney and Nieveen. Introduction to educational design research, teoksessa toim. Van den Akker, Gravemeijer, McKenney ja Nieveen, 2006 s. 4.

⁵²⁷ Juutia ja Lavonen 2006, s.58.

⁵²⁸ Dewey, 1929 (1999), s. 111–112.

⁵²⁹ Rodgers, 2002, s. 863.

⁵³⁰ Wood ja Berry (2003) esittävät viisi kehittämistutkimuksen piirrettä: 1) kehittämistutkimuksessa tuotetaan fyysinen tai teoreettinen artefakti. 2) Tuote testataan useita kertoja ja sitä kehitetään toistojen kuluessa. 3) Tuotoksen parantelussa käytetään useita malleja ja teorioita. 4) Kehittämistutkimus sijoittuu todelliseen kontekstiin, opettajan päivittäiseen työympäristöön, mutta tulokset ovat jaettavissa ja yleistettävissä laajemmallekin. 5) Opettaja kasvattajana/tutkijana on mieluummin väliintulija kuin tarkkaileva osanottaja, ja hän on vuorovaikutuksessa toisten opettajien kanssa, kun ammattimaisesti kehitettyä mallia testataan ja parannellaan. Wood & Berry, 2003, s. 195–196.

⁵³¹ Walker, Why now? Teoksessa toim. Van den Akker, Gravemeijer, McKenney ja Nieveen, 2006, s. 17. Feng Wangin ja Michael Hannafin (2005) mukaan DBR-tutkimuksen piirteitä ovat pragmaattisuus, *grounded*-tutkimus (perustuu teoriaan ja relevanttiin tutkimukseen), interaktiivisuus, iteratiivisuus, joustavuus, integratiivisuus (käyttää tarpeen mukaan monia metodeja) ja kontekstuaalisuus (tutkimusprosessi, löydökset ja muutokset dokumentoidaan), s. 8.

Kokeiluja olisi laajennettava kahta reittiä: ensinnäkin olisi jatkettava luonnontieteen historian kokeiluja muiden historiankurssien ja muiden oppiaineiden niiden kurssien osalta, joissa opetetaan jossain mielessä tieteen luonnetta ja siihen käytetään luonnontieteen historiaa. Lisäksi käytettävä materiaali olisi kirjoitettava opettajille sellaiseksi materiaaliksi, että sitä voidaan käyttää opetukseen ilman erityisiä opettajan materiaaleja. Tällöin siitä voi tulla todellinen luonnontieteen historian opetukseen artefakti.⁵³² Ihanteellinen opetuksen artefaktin olisi sellainen, että opettajan ei tarvitse osallistua täydennyskoulutukseen, jotta hän voisi käyttää sitä, ja sen tulisi sopia opettajien aineenhallintaan. Artefaktin tulisi auttaa opettajia toimimaan paremmin. Tässä työssä tutkimuksen analyysivaiheen kolmen kehittämissäätimen opetustavoitteet auttavat luonnontieteen historian opetusmateriaalin siirtämistä eri kursseihin ja eri oppiaineisiin. Toisaalta jotta luonnontieteen historian opetuksellinen potentiaali saataisiin laajemmin käyttöön, on muokkausprosessia ja kokeilua jatkettava. Jokaisen kurssin varsinaisten opetussisältöjen muokkauksen ja kokeilun tulisi tapahtua erillisinä kokeiluina. Siksi työryhmää tulisi laajentaa ja resursseja hankkia tutkimukseen.

⁵³² ”User-centred design”, Juuti 2005, s.20.

5. LUONNONTIETEEN HISTORIA SUOMALAISEN LUKION HISTORIAN OPPIKIRJOISSA

5.1 LUONNONTIETEEN HISTORIAN MODERNI KERTOMUS KURSSISSA ”EUROOPPALAI- NEN IHMINEN”

Edellisessä luvussa hahmoteltiin luonnontieteen historian kolme kehittämispilaria, niiden opetukselliset päämäärät ja näitä päämääriä tukevat historialliset sisällöt. Tämä teoriatausta on pohjana lukion historian oppikirja-analyysille ja kurssin *Eurooppalainen ihminen* muokausehdotukselle ja sen toteutukselle. Seuraavissa luvuissa tarkastellaan opetussuunnitelmaa ja historian oppikirjoja ainoastaan luonnontieteen historian opetussisältöjen kannalta. Johtopäätöksiä opetussuunnitelman tai oppikirjojen sopivuudesta muuhun opetukseen ei tarkastelun perusteella voida tehdä. Suomalaisen lukion oppimäärässä luonnontieteen historia sisältyy lukion historian toiseen pakolliseen kurssiin nimeltä *Eurooppalainen ihminen*. Kurssin tavoitteissa luonnontieteen historia on keskeisessä asemassa. Vaikka suomalaisen lukion opetussuunnitelman 2003 yleisissä osissa on nähtävissä luonnontieteen historian kannalta sekä moderneja että postmoderneja piirteitä, *Eurooppalainen ihminen* heijastaa lähinnä tieteen historian modernia tulkintaa.⁵³³ Lukion opetussuunnitelman perusteissa 2003 kurssia kuvataan seuraavasti (kursivoinnit tekijän):

2. Eurooppalainen ihminen (HI2)

Kurssi tarkastelee *eurooppalaisen kulttuurin* keskeisiä saavutuksia sekä eurooppalaisen ihmisen *maailmankuvan muutosta* ja sen taustalla vaikuttanutta *tieteellistä* ja *aatehistoriallista* kehitystä. Kurssilla tutustutaan eurooppalaisen kulttuurin tuotoksiin erityyppisen historiallisen lähdeaineiston avulla. Kulttuuri ymmärretään laaja-alaisena käsitteenä.

TAVOITTEET

Kurssin tavoitteena on, että opiskelija

- ymmärtää, mistä eurooppalaisuus rakentuu tutustumalla *Euroopan keskeiseen kulttuuriperintöön*
- ymmärtää tieteen saavutusten merkityksen ihmisen maailmankuvan muokkaajana
- osaa analysoida kulttuuri-ilmiöitä aikakautensa ilmentäjinä
- tuntee yhteiskunnallisen kehityksen taustalla vaikuttavia *aatehistoriallisia virtauksia*
- tuntee eri aikakausien elämäntapoja ja *maailmankuvaa*.

⁵³³ Kurssi Eurooppalainen ihminen oli jo Lukion opetussuunnitelman perusteissa 1994, jolloin kurssin sisältö määriteltiin seuraavasti (kursiivit tekijän): ”Eurooppalainen ihminen. Kurssi on kronologisesti etenevä pitkäaikaista eurooppalaiseen kulttuurihistoriaan. Kurssin teemoja on tarkoitus rakentaa lähestymällä eri aikakausien ihmisten maailmaa oman ajan lähteistön kautta. Teemoja rakennetaan myös historian *merkkihenkilöiden* kautta ja ns. tavallisten ihmisten avulla. Keskeisinä tarkastelukulmina ovat ihmiskäsitys ja tapakulttuuri, *luonnontieteellinen maailmankuva*, tiedonkäsitys ja taiteet.” Lukion opetussuunnitelman perusteet 1994, s.98.

KESKEISET SISÄLLÖT

Antiikin aika

demokratian synty
antiikin kulttuuri

Keskiajan yhtenäiskulttuuri

keskiajan ihmisen maailmankuva ja tapakulttuuri
uskonnon merkitys kulttuurissa

Uuden ajan murros

renessanssi ja tiedon vallankumous
barokki itsevaltiuden ja vastauskonpuhdistuksen ilmentäjänä
luonnontieteellisen maailmankuvan synty

Valistuksen aikakausi

valistusfilosofia ja sen vaikutukset yhteiskuntaan ja taiteeseen
Yhdysvaltain itsenäistymisen ja Ranskan suuren vallankumouksen aatteellinen perintö

Aatteiden vuosisata

keskeiset aatesuuntaukset ja taidevirtaukset
tiede uskonnon haastajana
porvariston vuosisata

Nyky aika

kulttuurin pirstoutuminen
populaarikulttuuri massaviihteeksi.⁵³⁴

Opetussuunnitelman kurssikuvaus asettaa oppikirjojen sisällöille rajat ja suuntaviivat. Yleisesti opetussuunnitelmassa oletetaan, että historialliset entiteetit ”länsimainen kulttuuri” ja ”länsimainen maailmankuva” ovat olemassa. Näiden käsitteiden eräs keskeinen juonne on länsimainen luonnontiede, joka on merkittäväällä tavalla muokannut eurooppalaisen ihmisen maailmankuvaa. Edelleen luonnontieteen historia tulkitaan tekstissä aatehistorialliseksi virtaukseksi, sillä kurssin kuvauksessa luonnontieteen historiallinen pääsisältö on erityisesti uskonnon haastaminen. Tätä uskonnon ja luonnontieteen historian tulkintaa kutsutaan *konfliktimalliksi*. Sen tulkinta on aivan liian yksioikoinen luonnontieteen historian nykytutkimuksen valossa.⁵³⁵

Luonnontieteen historian moderniin tulkintaan sitoutuneena *Eurooppalainen ihminen* painottaa yhtä historiallisesti ainutkertaista ”tieteen vallankumousta”, jonka keskeisin ilmenemis-

⁵³⁴ Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003, s.177.

⁵³⁵ David Lindbergin ja Ronald Numbersin toimittamassa kirjassa *When Science & Christianity Meet* (2003) puretaan konfliktimallia kaikkien luonnontieteen historian aikakausien osalta. Kirja on tarkoitettu erityisesti opetuskäyttöön.

muoto on luonnontieteellisen maailmankuvan synty. Tässä käsityksessä maailmankuvan muutos nähdään jyrkkänä historiallisena katkoksenä.⁵³⁶ Kun luonnontieteellinen maailmankuva on kerrallisena prosessina syntynyt, sen vaikutus näkyy eurooppalaisessa yhteiskunnassa, mutta sen historialliseen sisältöön ei tarvitse puuttua.

Kun kurssia *Eurooppalainen ihminen* tarkastellaan kolmen kehittämisspilarin kannalta, voidaan tehdä seuraavat huomiot. *Eurooppalaisen ihmisen* kurssikuvaus tulkitsee luonnontieteen historiaa internalismin varhaisten opetustulkintojen, valistuksen suuren kertomuksen ja positivistisen tulkinnan mukaisesti. Nykyiset luonnontieteen historian opettamiseen tarkoitetut HPS-kokeilut korostavat tieteellisiä maailmankuvia *käsitteellisinä tulkintajärjestelminä*. Tämän vuoksi opetuksessa olisi tarkasteltava useita peräkkäisiä maailmankuvia ja annettava niille opetuksellisesti kyllin rikas kontekstuaalinen kuvaus. Tällöin opiskelijan on mahdollista saada HPS-opetuksen pedagogisia hyötyjä luonnontieteen historiasta.

Pedagogiset hyödyt on identifioitu NOS-teemoissa: ne ovat vastauksia keskeisiin kysymyksiin, kuten miksi luonnontiede on ollut niin tehokas tapa kuvata maailmaa, millaisia saavutuksia sillä on ja mitkä ovat luonnontieteellisen kuvaustavan rajat.⁵³⁷ HPS-opetuksella voidaan antaa syvyyttä opiskelijoiden käsityksiin tieteen luonteesta. Jos HPS-opetuksen hyödyt halutaan käyttää, tulee aiemman tutkimuksen (Duhem, Mach, Koyré ja Kuhn) näkemykset luonnontieteen historian opetuskäytöstä ottaa huomioon. Luonnontieteen Big Picture -keskustelussa luonnontieteen historian tutkijat, kuten James Secord, Kathryn Olesko, David Kaiser, Patricia Fara ja John Heilbron⁵³⁸, hyväksyvät tällaisen näkemyksen tietyin varauksin: kontekstuaalista internalismia on opetuksessa täydennettävä modernin kertomuksen kriittisellä tarkastelulla. Myös luonnontieteen historian yleisesityksissä on päädytty tällaiseen ratkaisuun.⁵³⁹

Kurssin *Eurooppalainen ihminen* kuvaus lukion opetussuunnitelman perusteissa ei ohjaa oppikirjan kirjoittajia kirjoittamaan oppikirjaan kontekstuaalisia internalistisia kuvauksia. Kurssikuvauksesta saa varhaisen luonnontieteen historian (valistuksen tulkinta) mukaisen käsityksen yhdestä suuresta tieteen vallankumouksesta. Nykyinen HPS-opetus ei hyväksy

⁵³⁶ Kuvauksessa on kaikki modernin tulkinnan sisällöt: universalismi, eurooppalaisen tieteen erikoisasema, tieteen vallankumouksen ainutlaatuinen vaikutus maailmankuvaamme, luonnontiede aatehistoriallisena prosessina, jne. Monikulttuurinen luonnontieteen opetus korostaa pluralismia ”tietokäsityksessä”. Esimerkiksi Glen Aikenhead ja Masakata Ogawa luonnehtivat artikkelissa *Indigenous knowledge and science revisited alkuperäiskulttuurien ”tiede” – käsityksiä seuraavasti:* ”... (Alkuperäiskulttuurien) tieto on holistista, sisältäen fyysisiä ja metafyysisiä puolia yhdistettynä moraaliseen käyttäytymiseen, se painottaa käytännöllisyyttä ja sovelluksia, sen mukaan universumi on yksi, tieto on pysyväistä, mutta muokattavissa, sitä leimaa luottamus perittyyn tietoon, kaiken olevaisen kunnioitus, avoimuus, uteliaisuus, käytännön kokeellisuus, luottamus oraaliseseen tietoon, kommunikointi tarinoiden ja metafoorien avulla, sekä elämän arvojen ja oikean käytöksen yhteys”. Aikenhead ja Ogawa, *Cultural Studies of Science Education*, 2007, s. 583. Tämän kaiken Aikenhead ja Ogawa näkevät vastakohtana ”länsimaiselle tai eurooppalaiselle tieteelle”. Eri kulttuureilla ja sosiaaliryhmillä on yllä mainittuja piirteitä ”tietokäsityksissään”. Länsimaista koulujärjestelmää hallitsee kirjoittajien mukaan yksinoikeudella ”länsimainen tiede”.

⁵³⁷ NOS-tutkijat ovat vakuuttuneita, että kontekstuaalisella opetuksella edistetään luonnontieteen käsitteiden ja teorioiden oppimista sekä vähennetään uuden oppimiseen liittyvää muutosvastarintaa.

⁵³⁸ *The Oxford Companion to the Modern Science* (2003, lyhennetty versio 2008) kirjan toimituskunta on tätä mieltä esipuheessa kirjaan, J. Heilbron 2003, s. viii.

⁵³⁹ Näitä yleisesityksiä ovat Fava 2009, Ede ja Cormick 2003, Rossi 2010 sekä McClellan ja Dorn 1999.

tällaista käsitystä luonnontieteen kehityksestä. Myös nykyinen luonnontieteen historian tutkimus on hylännyt tällaisen, dramaattisen käsityksen ”tieteen vallankumouksesta”.⁵⁴⁰

Luonnontieteen NOS-opetuksen nykyisen käsityksen mukaan pelkkä moderni luonnontieteen historian kertomus opetuksessa ei kuitenkaan anna riittävän syvällistä kuvausta luonnontieteen keskeisistä piirteistä, vaan opettamiseen on saatava myös STS-sisältöjä. Tätä mieltä ovat erityisesti luonnontieteen historiantutkijat ja luonnontieteen historian yleisesitysten kirjoittajat. Kurssi *Eurooppalainen ihminen* käsittelee länsimaisen tieteen syntyä. Tämä tulkinta näkyy kurssin ajallisessa rajauksessa: länsimaisen tieteen synty alkaa antiikin Kreikan luonnontieteiden filosofiasta. Tällöin hyväksytään kapea koirélainen tulkinta luonnontieteen historiasta, ja se nähdään ensisijaisesti aatehistoriallisena ilmiönä. Nykytulkinta haluaa antaa luonnontieteelle pitkät, globaalit juuret ja korostaa tekniikan ja käytännön ensisijaisuutta luonnontieteen kehityksessä. Tämä edellyttää tutustumista Euroopan ulkopuolisten kulttuurien tietokäsityksiin, ja esimerkiksi luonnontieteen historian yleisesityksissä käsitellään luonnontieteen kehityksen kannalta Egypti, Babylonia, Intia, Kiina ja islamilainen kulttuuripiiri sekä niiden vuorovaikutus Euroopan kanssa. *Eurooppalaisen ihmisen* Eurooppa-keskeisyys ja aatehistoriallinen painotus sulkevat kuitenkin nämä yhteydet pois kurssin sisällöstä.

Douglas Allchinin mukaan ajanmukaisesti eksternalistinen näkökulma luonnontieteen historian opettamisessa edellyttää kahden keskeisen teeman käsittelyä:

1. Mikrososiaalinen aspekti luonnontieteen historiassa. Tämä tarkoittaa sitä, että opetuksessa luonnontieteen tutkijoita käsitellään aikaan sidottuina toimijoina, jotka muodostavat historiallisen ja sosiaalisen yhteisön ja joilla on yhteinen maailmankuva.⁵⁴¹ Tällaiseen tulkintaan *Eurooppalainen ihminen* antaa mahdollisuudet, jos kurssilla käsitellään kontekstuaalisesti erilaisia tieteellisiä maailmankuvia ja pyritään kuvaamaan tiedeyhteisön jäsenten paikallista toimintaa. Kurssikuvauksessa luonnontieteellinen maailmankuva on kuitenkin syntynyt ikään kuin kerralla ja antanut luonnontieteelle ”oikeat toimintamuodot”. Näin luonnontiede on synnystään lähtien ollut kuin ”ylihistoriallinen il-

⁵⁴⁰ Luonnontieteen historian tutkimuksen katsauksessa *Critical Problems on the History of Science*, teoksessa toim. M. Clagett, 1958, käsite ”tieteen vallankumous” on vielä luonnontieteen historian keskiössä. 1984 julkaistussa luonnontieteen historian oppaassa *A Guide to the Culture of Science Technology and Medicine* (toim. P.T. Durbin) tieteen vallankumous on edelleen luonnontieteen historian keskeinen käsite, vaikka sillä ei enää ole yksiselitteistä sisältöä. Vuonna 1990 julkaistussa teoksessa *Companion to the Modern Science* (toim. Olby, Cantor, Christie ja Hodge) ei käsitellä yhtä vaan kahtatoista erilaista internalistista vallankumousta. Kirjassa *The Oxford Companion to the History of Modern History of Science* (toim. Heilbron 2003) myönnetään käsitteen ”tieteen vallankumous” kiistanalaisuus, mutta huomautetaan, että se on myös historiallinen kuvaus tapahtumasarjasta: ”...luonto käyttäytyy riittävän säännöllisesti, että sitä voidaan kuvata lakien ja matematiikan avulla”(s. viii). Luonnontieteen kehitys on epäämätön historiallinen tapahtuma, jonka olemassaololle historioitsijat eivät voi mitään, se ei siis ole pelkkä historioitsijoiden konstruktio (s.viii). Kirjassa *Cambridge History of Science*, osa 3, *The Early Modern Science* (toim. Park ja Lorraine, 2006) ei käsitellä ”tieteen vallankumous”ole ollenkaan omana artikkelina. Kirjan toimittajat perustelevat päätöstään seuraavasti: ”Our avoidance of the phrase is intentional. The cumulative force of the scholarship since 1980s has been to insert skeptical question marks after every word of this ringing three-word phrase...” (s.13).

⁵⁴¹ William Eamonin mukaan renessanssiaikana usko tiedon hyödyllisyyteen kasvoi ja kiinnostus tietoon lisääntyi. Uusi tiede oli kuitenkin *eliitin* yksioikeus: ”To Galileo, Copernicanism presumed the need for a deeper, more subtler understanding of Scripture that only natural philosophers could make...The new philosophy disqualified the people from the arenas where natural knowledge was produced.” William Eamon, *Markets, Piazzas, and Villages*, teoksessa toim. Katherine Park and Lorraine Daston 2006, s.223. Suurinta osaa ihmisistä eivät muutokset maailmankuvassa koskeneet millään tavalla.

miö”, universaali, objektiivinen tapa tulkita maailmaa ja siten erilainen kuin muut historian käsiteltävät ilmiöt.

2. Makrososiaalinen aspekti luonnontieteen historiassa. Tässä käsitellään luonnontieteen ja yhteiskunnan välistä vuorovaikutusta. Kurssikuvauksessa teemasta nousee esiin vain yksi historiallinen tulkinta: tiede uskonnon haastajana. Nykyisen historiankirjoituksen kannalta tärkeät teemat kuten luonnontiede osana kulttuuria, luonnontieteen ja teknologian väliset kompleksiset suhteet, ”Big Science” sekä tiede ja kylmä sota jäävät kurssirajauksen takia helposti käsittelemättä.

Douglas Allchin ehdottaa vielä kolmannen luonnontieteen historian eksternalistisen teeman käsittelyä, nimittäin ”väärien teorioiden ja väistyneiden maailmankuvien” käsittelyä jossain opetuskontekstissa. Väistynyttä maailmankuvaa käsiteltäisiin historiallisena selitysjärjestelmänä, jolla on ollut aikanaan omat rationaaliset perusteensa. Näitä perusteita pyrittäisiin ymmärtämään selitysjärjestelmän omilla ehdoilla. Näin vältettäisiin yksinkertainen whig-historiallinen tulkinta luonnontieteen kehityksestä. *Eurooppalaisen ihmisen* kurssikuvaus ei sinänsä estä käsittelemästä väistyneitä maailmankuvia tai virheelliseksi osoittautuneita teorioita, vaikka niitä ei mainitakaan sisältökuvauksessa.

Millaisiin kertomuksiin *Eurooppalaisen ihmisen* kurssikuvaus houkuttelee oppikirjan kirjoittajia? Kertomus, joka näkyy kuvauksen taustalla, on valistuksen versio modernista kertomuksesta, vaikka lukion historian opetussuunnitelman perusteiden yleisessä osassa kehoitetaan ”ottamaan huomioon ajan moniperspektiivisyys”⁵⁴². *Eurooppalainen ihminen* -kurssin sisällöllinen raja on ongelmallinen luonnontieteen historian opetuksen kannalta. Toisaalta kurssin luonnontieteen historiallisia sisältöjä voidaan materiaalin valikoinnilla parantaa ja rikastaa.

5.2. LUONNONTIETEEN HISTORIAN OPPIKIRJAKUVAUS LUKION HISTORIAN OPPIKIRJOIS- SA ENNEN VUOTTA 2003

Vaikka luonnontieteen historian yleisesitykset ovat tulkinnoiltaan suuresti muuttuneet, suomalaisen lukion historian oppikirjojen luonnontieteen historian kuvaus on pysynyt pitkään samanlaisena. Luonnontieteen historian oppikirjakuvauksen perinne ylittää opetussuunnitelmat: kuvauksen kertomukselliset ja tieteenfilosofiset perusrakenteet ovat pysyneet vuosikymmenten kuluessa samoina. Esimerkeiksi pitkästä traditiosta seuraavaksi on otettu eräitä lukion oppikirjoja. Kyseiset oppikirjat ovat olleet pitkään ja laajalti opetuskäytössä (oppikirjoista käytetään tekstissä kursiivilla tässä sulkuihin kirjoitettuja lyhenteitä):

Sarva, G. V., ja Niemi, K. V., *Historian oppikirja lukioluokkia varten. II osa. Uusi ja uusin aika*. WSOY 1965 (Sarva ja Niemi 1965)

Sarva, G. V., ja Niemi, K. V., *Historian oppikirja lukioluokkia varten. I osa. Vanha aika ja keskiaika*. WSOY 1971 (Sarva ja Niemi 1971)

⁵⁴² Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003, s.176.

Vierros, T., Kirkinen, H. ja Häkli, E., *Maailma ennen ja nyt*. Kirjayhtymä 1977 (*Maailma ennen ja nyt*)

Ahonen, S., Heikkinen, A., Lindlöf, T., Rytönen, S. ja Tiainen, S., *Lukion Historia 1 ja 2*, Gummerus 1984 (*Lukion Historia*)

Hiedanniemi, B. ja Sahi, S., *Ajasta Aikaan. Eurooppalainen ihminen*. WSOY 1994⁵⁴³ (*Ajasta Aikaan*)

Vanhemmissa historian oppikirjoissa sisältörunko oli kronologinen. Opetussuunnitelman perusteissa 1994 siirryttiin temaattisiin kursseihin. Yksi tuolloin luoduista uusista kursseista oli *Eurooppalainen ihminen*.⁵⁴⁴ *Ajasta Aikaan* -sarjan oppikirja kirjoitettiin vastaamaan tuolloin juuri voimaanastuneita 1994 opetussuunnitelmaperusteita, ja sen sisällöllisiä ratkaisuja on sikäli kiinnostavaa vertailla vanhempiin oppikirjoihin. Kirjaan on valittu antiikin luonnonfilosofiasta asiantuntevasti lyhyitä whig-historiaan vivahtavia osia. Esimerkiksi kirjan mukaan jo antiikissa on kehitetty tutkimuslaitokset, tieteellinen ajattelu ja empiirinen tutkimus (kursiivit LH): ”Platonin perustama Akademeia – koulu, jossa hänen oppilaansa tutkivat filosofiaa, *luonnontieteitä ja matematiikkaa*, oli esikuva keskiajan yliopistoille. Platonin oppilas Aristoteles vaikutti peloponnesolaissotien jälkeen. Hänen perusti oman *tutkimuslaitoksensa* Lykeionin, jossa tutkijoita ohjattiin *tieteelliseen ajatteluun*. Aristoteleen viitoittama tapa pohdita ongelmia oli tiedemiesten esikuva lähes parituhatta vuotta: *luonnonilmiöitä koskevat päätelmät perustuivat havaintoihin*.⁵⁴⁵ Ja edelleen kirja mukaan: ”Aleksandrialainen Eukleideen kehitti geometriaa ja matematiikkaa. Hänen kirjoittamaansa oppikirjaa eurooppalaiset koululaiset opiskelivat vielä 1900-luvun alussa. Eukleideen geometriaa voitiin käyttää *käytännön elämään*, kuten maanmittaukseen ja rakentamiseen. ...Syrakusalainen Arkhimedes *keksi* nimeään kantavan fysiikan lain...Aristarkhos *huomasi tutkimuksissaan* maan kiertävän aurinkoa...Ptolemaios *kannatti* maakeskisessä järjestelmässä.”⁵⁴⁶

Kirjan tulkinnan mukaan siis jo antiikissa oli olemassa modernin tieteen elementit:

- tiede on antiikin aikana valmiina instituutiona,
- tutkija on antiikissa luonnontieteilijä ja totuuden etsijä,
- antiikissa on havaittavissa tieteen ja tekniikan hedelmällinen vuorovaikutus ja
- metafysiikasta ja uskonnosta oli jo antiikin aikana päästy eroon.

⁵⁴³ Kolme ensimmäistä kirjaa ovat jäsennykseltään kronologisia, *Ajasta Aikaan* taas on saarekkeinen. Luonnontieteen historian sisältöön ei kyseisellä seikalla ole ollut vaikutusta.

⁵⁴⁴ Jaakko Väisänen on väitöskirjassaan *Murros oppikirjojen teksteissä vai niiden taustalla?* (2005) analysoinut 1960- ja 1990-luvun historian oppikirjat kriittisen diskurssianalyysin silmin ja tutkinut historian oppikirjoja taustalla olevaa opetussuunnitelmauudistusta. Hänen mukaansa OPS 1994 korosti *kriittistä suhtautumista* tietoon ja totuudellisuuteen. Kurssikuvaukset OPS 1994:ssä olivat väljät, ja myös oppikirjojen sisällön viranomaisvalvonnasta oli luovuttu. Väisänen 2005, s.45–61.

⁵⁴⁵ *Ajasta Aikaan*, s.28. Sama malli löytyy kirjoissa *Sarva ja Niemi* 1965, s.49, *Lukion historia*, s. 58 ja s. 73–74. Viimeksi mainitussa on esimerkkejä Aristoteleen käsitejärjestelmän sovelluksista, tosin ei sen sovelluksista luonnonfilosofiaan.

⁵⁴⁶ *Ajasta Aikaan*, s.35.

Kirjan esityksen mukaan keskiajalla⁵⁴⁷ tämä antiikin tieteen perintö hukattiin ja luonnontieteen oli synnyttävä uudelleen. Luonnontiede syntyi 1500–1700, jolloin empiirinen ja matemaattinen metodi levisi kaikkiin luonnontieteen tutkimusaloihin.⁵⁴⁸ Kaikissa käsitellyissä historian oppikirjoissa tieteen vallankumouksen jälkeisen ajan käsittely on hyvin lyhyt. Luonnontieteiden historiaan palataan Charles Darwinin yhteydessä. Tällöin esitellään valistuksen suuren kertomuksen positivistinen loppu, jolloin tieteen, uskon (ja taikauskon) ja metafysiikan kamppailu päätetään luonnontieteellisen selittämisen voittoon.⁵⁴⁹ Kaikissa käsitellyissä kirjoissa luonnontieteen ja uskonnon välinen suhde tulkitaan konfliktimallin mukaisesti.⁵⁵⁰

Luonnontieteen historia esitetään *Ajasta aikaan* -kirjassa modernin tarinan mukaisesti. Tämän vuoksi luonnontieteen historian sisältökuvaus keskittyykin luvussa Tieteen vallankumous kaikissa käsiteltävissä historian oppikirjoissa. *Ajasta Aikaan* -kirjan luku Tieteen vallankumous on perinpohjainen kuvaus luonnontieteen muutoksen ajanjaksosta. Kirja on HPS-tulkinnan mukainen, ja luonnontiede liitetään filosofiseen perinteeseen: ”Empirismi ja rationalismi olivat luonnontieteen vallankumouksessa keskeisellä sijalla.” Kirjan mukaan näin oli 1600-luvulla luotu pohja ”uudenaikaisten tieteellisten menetelmien käytölle⁵⁵¹”. Tämä oli mahdollista, koska ”...oppineet lisäsivät tutkimusvapauttaan siirtymällä yliopistoista uusiin tiedeakatemioiden.”⁵⁵²

Ajasta Aikaan oppikirja antaa tieteen vallankumoukselle positivistisen määritelmän: Kysymys johon Galilei halusi vastauksen oli ”... ei millainen vaan miten. Galilein arvokkain tieteellinen panos oli tutkimustulosten perustaminen täsmällisiin mittauksiin metafysisien periaatteiden sijaan...empiirisen mittaustavan vakiintuminen...uutta tietoa voidaan saada vain tekemällä havaintoja todellisuudesta.”⁵⁵³ Luonnontieteen historian kuvaus etenee tutkimusta kuvaavilla verbeillä: Kopernikus *päätyi* matemaattisilla laskelmillaan, Kepler *pystyi* laskelmillaan todistamaan, ja Galilei *perusti* tutkimustuloksensa empiirisiin havaintoihin yhtä paljon kuin matemaattisiin laskelmiin. Galilei saa kertomuksessa pääroolin, ja kirja korostaa, kuinka kilpailijat ”kantelivat” Galileista paaville.⁵⁵⁴ Vanhemmissa historian oppikirjoissa korostetaan

⁵⁴⁷ Luonnontieteen keskiajan sisällöistä on ainoastaan luonnontiedettä koskeva lause: ”Arabeilta saatiin virikkeitä tähtitieteen ja matematiikan tutkimuksiin.” *Ajasta Aikaan*, s. 70.

⁵⁴⁸ ”Newtonin käsitukset säilyttivät asemansa aina 1900-luvun alkuun asti...Newtonin mekaaninen maailmankuva oli täydellinen ja ehyt malli maailmankaikkeuden toiminnasta...” *Ajasta Aikaan*, s.93.

⁵⁴⁹ ”Tieteellinen maailmankuva syrjäytti uskonnolliset ja metafysiset maailmanselitykset ja taikausko väistyi”, *Ajasta Aikaan*, s. 133. ”Charles Darwin romutti lopullisesti näkemyksillään Raamatun luomiskertomuksen ja vaikutti voimakkaasti tieteellisen maailmankuvan yleistymiseen.” (kursiivit LH) *Ajasta Aikaan*, s.135. Evoluutioteoriaa ei kirjassa esitellä kehittyvänä käsittejärjestelmänä vaan Raamatun korvaajana.

⁵⁵⁰ Lindbergin ja Numbersin toimittaman kirjan *When Science and Christianity Meet* (2003) aiheena on, 1800-luvun lopulta lähtien, tieteen historian popularisoinneissa yleinen konfliktimalli luonnontieteen ja uskonnon suhteesta. Kirjan artikkeleissa esitellään uskonnon ja tieteen monivivahteinen suhde, joka halutaan luonnontieteen historian tulkinnaksi popularisointeihin ja opetukseen. Lindberg ja Numbers 2003, s.1–5.

⁵⁵¹ *Ajasta Aikaan* s. 91. Samantyyppinen kuvaus löytyy kirjoissa *Sarva ja Niemi 1971*, s. 70–71 ja *Lukion Historia*, s. 235–238.

⁵⁵² *Ajasta Aikaan*, s. 91.

⁵⁵³ *Ajasta Aikaan*, s. 92.

⁵⁵⁴ *Ajasta Aikaan* -kirjaa käyttävä opettaja voi monipuolistaa Galilein käsittelyä, jos täydentää sen lauseita: ”Huolimatta siitä, että monet aikakauden paaveista antoivat tukensa vapaamielisille ajatuksille ja luonnontieteen tutkimuksille, Galilei jäi historiaan tieteen vapauden *symbolina*. Katolisen kirkon tuomio purettiin vasta 1980-luvulla.” (kursiivit LH) *Ajasta Aikaan*, s. 93.

Galilein roolia inkvisitio-oikeudenkäynnin kautta ja antamalla Galileille uranuurtajan rooli dynamiikan, astronomian ja luonnontieteen metodin keksimisessä.

Kirjassa *Ajasta Aikaan* Isaac Newtonin *Principian* (1687) merkitys selostetaan hyvin yleisellä tasolla. Opetuksellisesti ajatellen oppikirjassa ei selitetä mitään konkreettisten esimerkkien kautta. Opiskelija tuskin ymmärtää lyhyesti mainittuja luonnontieteen vahvasti metafysisiä periaatteita: ”Newtonin klassisen mekaniikan perustana oli käsitys aineen perusominaisuuksista: absoluuttisesta ajasta, paikasta ja aineesta, jotka olivat tosia ja matemaattisesti mitattavia.”⁵⁵⁵ Syntynyt luonnontiede levisi nopeasti koko yhteiskuntaan, ja innostus luonnontieteiden tutkimukseen oli varsinkin 1700-luvulla niin laajaa että ”...vallasrouvatkin rakensivat hyvin varustettuja laboratorioita koteihinsa...Newtonin käsitykset säilyttivät asemansa aina 1900-luvun alkuun asti...Newtonin mekaaninen maailmankuva oli täydellinen ja ehyt malli maailmankaikkeuden toiminnasta...Ensimmäisen kerran historiassa tiedemiehet katsoivat, että ihmisellä oli oikeus alistaa luonto palvelemaan ihmiskuntaa. Tieteen piti lisätä ihmisen hyvinvointia ja sen tuli olla hyödyllistä.”⁵⁵⁶

Historian oppikirja *Maailma ennen ja nyt* on hyvä esimerkki oppikirjasta, jossa on paneuduttu luonnontieteen historian opetussisältöihin suhteellisen paljon. Kirjassa on luonnontieteen historiaa runsaasti. Ilmestymisaikanaan uutena piirteenä kirjasta löytyy lähtökohtia luonnontieteen prosessikuvaukselle. Kirjassa kerrotaan luonnontieteen historiasta, että luonnontieteessä käytiin vilkasta tieteellistä keskustelua ja että tämä luonnontieteen muutosprosessi oli monimutkainen ja pitkälinen. Siinä annetaan myös esimerkkejä kahden teorian välisestä vuoropuhelusta. Kirjassa ei kuitenkaan konkreettisesti kuvata kilpailevia maailmankuvia tai kerrota, millaisia kiistoja niistä käytännössä käytiin, mitä kiista oikeastaan koski ja millaisia argumentteja käytettiin.⁵⁵⁷ *Maailma ennen ja nyt* pyrkii silti kuvaamaan luonnontieteen kehitystä prosessina. Luonnontieteellisellä konkreettisella opetusmateriaalilla täydennettynä se antaisi hyvän HPS-lähtökohdan luonnontieteen historian opettamiseen. Puutteena siinä kuten muissakin valituissa oppikirjoissa on, että niissä ei käsitellä luonnontieteen historian eksternalistisia piirteitä.

5.3. LUONNONTIETEEN HISTORIAN KUVAUS LUKION OPETUSSUUNNITELMAN PERUSTEIDEN 2003 MUKAISISSA OPPIKIRJOISSA

Luonnontieteen historian oppikirja-analyysiin otettiin kaikki nykyisen 2003 lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaiset oppikirjat. Tekstissä käytetään jatkossa niistä suluissa

⁵⁵⁵ *Ajasta Aikaan*, s. 93.

⁵⁵⁶ *idem*.

⁵⁵⁷ *Maailma ennen ja nyt* kirjassa Aristoteleen tieteellisen ajattelun perusteet on selitetty verraten hyvin. Myös Ptolemaioksen *Almagestin* kuvaus on osuva. *Maailma ennen ja nyt*, s. 85–86. Toisaalta kirjasta puuttuu konkretia. Luonnontieteen historian käsittely keskittyy lukuun Luonnontiede ja matematiikka: ”Ptolemaiolaiseen järjestelmään tehdyt parannukset olivat tehneet siitä monimutkaisemman” (*Maailma ennen ja nyt*, s.285). ”Keskiajan lopulla oli maailmankuvan ympärille syntynyt vilkas *tieteellinen keskustelu*.” ...”Kopernikaaninen maailmankuva valtaa hitaasti alaa.” (kursiivit LH, s. 286). Kirja kuvaa edelleen tieteellistä prosessia: ”Monet etevät tiedemiehet vastustivat kopernikaanista oppia. Tanskalainen Tyko Brahe luuli keräämänsä materiaalin perusteella kykenevänsä todistamaan uuden teorian mahdottomuuden... Provoisoivasti esiintynyt Galilei ei pystynyt aluksi sitovasti osoittamaan todistamaan aurinkokeskeistä järjestelmää oikeaksi.” (s. 287).

mainittuja lyhenteitä. Kirjoista Eepos on ilmestynyt jo 2001, mutta sitä on käytetty 2003 opetussuunnitelmien mukaiseen opetukseen.

Markkola, P., Mustakallio, K., Oikarinen, J., Oikarinen, S. ja Salminen, T.:
Eepos: Maailmanhistorian käsikirja. WSOY 2002 (*Eepos*).

Ahtiainen, M., Aromaa, V., Heininen, S., Kauppinen, S. ja Sihvola, J.:
Eurooppalaisen ihmisen Aikakirja. Edita 2004 (*Aikakirja*)

Heikkinen E., Ojakoski, M. ja Väisänen J.: *Muutosten maailma. Eurooppalainen ihminen*. WSOY 2005 (*Muutosten maailma*)

Kohi, A., Palo, H., Päivärinta K. ja Vihervä, V.: *Forum II. Eurooppalainen ihminen*. Otava 2005 (*Forum II*)

Ekonen, J., Kulju, V., Matsinen, T., ja Saarinen, H.: *Lukion horisontti, Aatteita ja kulttuureja. Eurooppalainen ihminen*. Otava 2006 (*Lukion horisontti*)

Lahtinen, A., Ripatti, E. ja Similä, E.: *Linkki 2. Eurooppalainen ihminen*. WSOY 2010 (*Linkki*)

Aalto, J., Aromaa, V., Hanska, J., Hänninen, M., Nieminen, J., Paju, M. ja Salmi, H.: *Kaikkien aikojen historia. Eurooppalainen ihminen*. Edita 2010 (*Kaikkien aikojen historia*).

Silmiinpistävää suomalaisissa oppikirjoissa on luonnontieteen historian kuvauksen samanlaisena vuosikymmeniä jatkuva perinne. Kuvauksen rakenne on sama kuin vanhoissa oppikirjoissa; sananvalinnat ja luonnontiedettä kuvaavat lauseetkin ovat usein samoja. Oppikirjojen mukaan tiede keksittiin antiikin Kreikassa.⁵⁵⁸ Tiede painui unohduksiin kahdeksi vuosituhanneksi ja syntyi uudelleen tieteen vallankumouksessa. Kaikissa historian oppikirjoissa korostetaan yhden, suuren myyttisen tieteen vallankumouksen merkitystä⁵⁵⁹ ja tieteen vallankumousta tulkitaan valistuksen suuren kertomuksen näkökulmasta. Tämä tieteen vallankumous tapahtui luonnontieteen metodissa.⁵⁶⁰ Luonnontieteen metodi on oppikirjojen mukaan universaali, ja

⁵⁵⁸ *Lukion horisontti* kuvaa tieteen synnyn luvussa ”Joonia, Ateena ja Aleksandria – tieteen keskuksia”. Selitysten ja tekstin määrä on vähentynyt vanhoihin oppikirjoihin verrattuna. Samat ”tutkijat” luetellaan lyhyin kommentein, aivan kuin vanhemmissa oppikirjoissa (kursiivit LH): ”Aristoteles puolestaan *katsoi*, että havainnot ovat tärkeitä. Hän *korosti* johdonmukaisen ajattelun tärkeyttä tutkimuksessa ja *loi* logiikan...Eukleides *kokosi* antiikin geometrian kokonaisuudeksi teoksessaan alkeet, latinaksi Elementa. Hän *johti* peruslähtökohdista tiettyjä seurauksia ja lopuksi *totesi*: ”Mikä oli todistettava.”... Arkhimedes *laski*...ja kerrotaan huudahtaneen ’Heureka’...Aristarkhos *esitti*...” *Lukion horisontti*, s. 18–19.

⁵⁵⁹ Oppikirjat otsikoivat tieteen vallankumouksen seuraavasti: *Muutosten maailma*: ”Luonnontieteellinen maailmankuva syntyy” s. 87; *Aikakirja*: ”Luonnontieteiden nousu.” s. 98; *Forum*: ”Tiedon vallankumous ja uusi maailmankuva” s. 85; *Kaikkien aikojen historia*: ”Tieteen vallankumous”, s.111; *Ajasta Aikaan*: ”Tieteen vallankumous”, s.91; *Eepos*: ”Maailman kuvan murroksesta”, s. 93, luvusta ei saa selvää, tapahtuiko ajattelun murros todellisuudessa vai ei.; Kirjan *Linkki* luvussa ”Uskonpuhdistus ja uusi maailmankuva” käsitellään tosiasiallisesti tieteen vallankumousta. Viimeisen alaluvun otsikko on ”Mekaaninen maailmankuva?”. Otsikon kysymysmuoto jää epäselväksi, koska luvun sisältö on positivistinen kuvaus tieteen vallankumouksesta. *Linkki*, s. 92–93.

⁵⁶⁰ *Muutosten maailma*: ”...löytöretket loivat edellytykset tarkastella ennakkoluulottomasti ympäristöä. Aristoteleen ja Ptolemaioksen maailmankuva romutettiin.”; *Lukion horisontti*: ”Hänestä (Galileista) tuli kokeellisesti ja matemaat-

sillä on ajan mittaan kuvattu yhä uusia ilmiömaailmoja. Koska kyse on ollut metodin sovel-
luksen toistosta, muut luonnontieteen vallankumoukset eivät saa kirjoissa omaa kuvausta
vaan niistä on vain lyhyitä mainintoja.⁵⁶¹ Valistuksen myyttinen, moderni tieteenhistorian
kuvaus on yksinkertainen edistyskertomus. Tieteen vallankumouksen jälkeinen luonnontie-
teen historian käsittely on kaikissa *Eurooppalaisen ihmisen* -oppikirjoissa suppea.

5.3.1 VALISTUKSEN EEPPIINEN ROMANSSI OPPIKIRJOJEN LUONNONTIETEEN HISTORIAN POHJANA

Tyypillinen 1800-luvun tiedettä kuvaava luku on *Forumin* ”Tieteiden voittokulku”.⁵⁶² Kirjan
mukaan luonnontiede on kehittynyt lopullisiin muotoihinsa 1700-lukuun mennessä. Oikea
metodi ja tutkijoiden vilpittömä tieteellinen tutkimuseetos johtivat tieteen lopulliseen voittoon
uskonnosta.⁵⁶³ Tiedemiesten ammattiin kuuluva ”havainnointi” johti luonnon lainalaisuuksien
paljastumiseen. Luonnontieteen ”sankarit” mainitaan nimeltä, ja heidän nimiinsä pannaan
ratkaisevat keksinnöt ja kehitetyt teoriat: Charles Darwin, Marie ja Pierre Curie ja Albert
Einstein.

Forum-oppikirjan mukaan luonnontiede tuotti 1800-luvulla jatkuvasti uusia sovelluksia tuo-
tantoelämään, pelasti ihmishenkiä ja helpotti arkielämää. Luonnontieteen voittokulusta kerro-
taan seuraavaa (kursiivit LH): ”...uudet ideat ja keksinnöt *veivät jatkuvasti kehitystä eteen-
päin*...kehitys perustui *kokeellisten menetelmien laajaan käyttöön*. Kemiaan *omaksuttiin*
alkuainetaulukot ja atomiteoria...Kemian käytännön sovellutuksena *kehitettiin* lannoit-
teet...*Havaittiin*, että elintoiminnot perustuvat soluihin...Aikaisemmat teoriat *hylät-
tiin*...Sairaudet *torjuttiin* rokotteilla...1800-luvulle tultaessa kulkutaudit oli voitettu.” Edel-
leen *Forumin* mukaan ”*Havainnot* röntgensäteistä ja radioaktiivisuudesta ja erityisesti Albert
Einsteinin (1879–1955) teoria siitä, että valon nopeus oli vakio, vaikuttivat teorioihin maail-
mankaikkeuden luonteesta sekä *ihmisten maailmankuvaan*. Ihminen olikin vain pieni osa
jatkuvasti laajenevaa maailmankaikkeutta. Yhtenä sovelluksena Einsteinin ajatuksille voidaan
pitää ydinvoimaa.”⁵⁶⁴ Kirjojen käsityksen mukaan luonnontieteen tuotokset siirtyvät suoraan
koko eurooppalaisen sivilisaation henkiseksi pääomaksi. *Forum* ei mainitse luonnontieteen
muuta yhteiskunnallisia suhteita kuin valistuksen kertomuksen ytimen: konfliktiteorian mu-

tisesti suuntautuneen luonnontieteen isä”, s.80; *Aikakirja*: ”Galilei toteutti tieteellisen metodin tähtitieteen alal-
la...Galilei oli ensimmäinen moderni luonnontutkija.” s.99; *Forum*: ”Menetelmää kutsutaan empiriseksi tiedonhan-
kintamenetelmäksi.” s. 88; *Kaikkien aikojen historia*: ”Luonnon toimintamekanismeista voitiin hankkia uutta tietoa
kokeellisen tutkimuksen perusteella. kokeelliseen havainnointiin perustuvaa tieteen menetelmää kutsutaan empiris-
miksi.”s.116; *Ajasta aikaan*: ”Hän (Bacon) uskoi empiriseen eli kokeelliseen menetelmään.”...Descartesin mukaan
...totuuksia saatiin vain järkiperaisesti ajatteleamalla ja kurinalaisella tieteellisellä metodilla.” s.91.

⁵⁶¹ *Eepos* on poikkeus, koska se on selkeästi eksternalistinen oppikirja. Tieteen vallankumous -käsitettä ei käytetä
vaan puhutaan yleisestä ajattelun ”murroksesta”. Luonnontiede *syntyi* yhteiskunnallisen muutoksen paineesta, ei
”puhtaan tiedon halusta”. *Eepos* 2002, s.192. Toisaalta uuden tieteen tutkimusprosessi kuvataan vanhentunein inter-
nalistisin (tieteenfilosofisin) käsittein.

⁵⁶² *Forum*, s. 140–142.

⁵⁶³ Evoluutioteoria käsitellään tyypillisesti konfliktitulkinnan mukaisesti, uskonnon ja luonnontieteen taistelun viimei-
senä eränä: ”Darwin käänsi tieteen ja uskonnon pitkään jatkuneen kamppailun lopullisesti tieteen hyväksi.”, *Forum*,
s.140. Ainoat tieteen harhapolut olivat Darwinin teorian sovellus yhteiskuntaan, kuten sosiaalidarvinismi. Lisäksi
mainitaan Adolf Hitler ja eugeniikka.

⁵⁶⁴ Kaikki lainaukset, *Forum*, s.142.

kaisen luonnontieteen taistelun uskontoa vastaan ja eri tieteenalojen kehittämät teoriat, jotka voitiin siirtää tuotantoelämän käyttöön.⁵⁶⁵

Lukion horisontti nostaa Galilein luonnontieteen isäksi, koska hän oli merkittävin uudistaja: ”Hänestä tuli kokeellisesti ja matemaattisesti suuntautuvan tähtitieteen isä...” Galilei keksi inertialain (klassisen mekaniikan muodossa), putoamisen lain, sekä metodin: ”Galilei kehitti mekaniikan ja samalla nykyaikaisen luonnontieteen.”⁵⁶⁶ Kaikki muut tutkijat jäivät kirjassa Galilein varjoon.

Valistuksen historiankirjoituksen perintö näkyy oppikirjoissa selkeänä uskonnon ja luonnontieteiden välisenä vastakkainasetteluna.⁵⁶⁷ Luonnontieteen vallankumouksen vuoksi länsimaisen ihmisen maailmankäsitys kohoaa uskonnolliselta tai metafysiseltä tasolta uudelle tieteelliselle tasolle. Uusi tiede perustuu omaan ajatteluun ja ennakkoluulottomaan havaintojen tekemiseen. Tätä merkitsee empiirisen tai induktiivisen menetelmän keksiminen.⁵⁶⁸

Valistuksen kertomus sisältää erittäin voimakkaita tarinallisia pelkistyksiä, jotka eivät vastaa nykytutkimuksen monivivahteista kuvaa Galilein oikeudenkäynnin tapahtumasarjasta 1632.⁵⁶⁹ Positivistinen tulkinta luonnontieteen historiasta vahvisti tätä kertomusta, ja jatkoksi siihen liitetään usein tarinan toisena osana evoluutioteorian vastaanotto. Kaikissa tässä tarkastelluissa kirjoissa, paitsi *Eepoksessa*, hyväksytään valistuksen kertomus tieteen vallankumouksesta sekä positivistinen tulkinta luonnontieteestä tiedon voittona uskosta.

Voimakkaimmin valistuksen eepin romanssin kertoo lukion historiankirjoista *Forum*. Kirjassa on kolmen sivun pituinen Galilein henkilön syvennys. Galilein asemaa luonnontieteen isänä ja marttyyrina pönkitetään sekä tekstein että kuvin. Kirjassa on kaksi dramaattista Galilein henkilöön keskittyvää kuvaa. Toisessa Galilei yrittää saada aristoteelikkoja katsomaan omin silmin kaukoputkesta, mikä on totuus⁵⁷⁰, ja toinen esittää Galileita inkvisition

⁵⁶⁵ *Forum*, s. 141.

⁵⁶⁶ *Horisontti*, s. 84. Oppikirjoista *Forum* panostaa erityisesti Galilein tarinaan. Galilei esiintyy moneen kertaan uuden tieteen marttyyrina. Kirjassa on erillinen luku ”Galilei tuomiolla”, s.8–11. Kirjassa on vaikuttava kuva vanhasta Galileista ja kuvateksti ”Kirkon tuomioistuimen edessä Galilei joutui kieltämään havaintonsa tähtitaivaan rakenteesta...”, s.90. *Muutosten maailma* kirjoittaa: ”Uuden maailmankuvan todentaminen ja vakiinnuttaminen jäi italialaisen fyysikon ja tähtitieteilijän harteille”. Myöhemmin kirjan mukaan Newton selvitti kaiken kolmeksi vuosisadaksi, *Muutosten maailma*, s.86.

⁵⁶⁷ *Lukion horisontti*, s. 82, *Forum*, s.6–11 ja *Kaikkien aikojen historia*, s.114. Kirjojen usko tieteeseen ei ole täysin varauksetonta. Oppikirjoissa ei kuitenkaan eksplisiittisesti selosteta, mitä varauksilla oikeastaan tarkoitetaan. *Kaikkien aikojen historia* toteaa, että varsinaisen tieteen rinnalla harrastettiin astrologiaa, magiaa ja alkemiaa ja että eräät humanistiset oppineet loivat tieteellisen noitavainoteorian, s.111. *Eepos* ei kerro luonnontieteen internalistisia piirteitä ollenkaan, vaan keskittyy luonnontieteen esoteerisen taustan selvittelyyn, s.194. Esimerkkinä irrationalisuudesta järjen aikakaudella *Eepos* käsittelee omassa lukuessa nimeltä ”Noitavainot”.

⁵⁶⁸ *Lukion horisontti*: ”...uudella ajalla muutamat tieteenfilosofit alkoivat korostaa havaintojen tekoa tieteenmenetelmänä”...Baconin mukaan...”*ennakkoluulot* olivat pahin haitta oikeiden havaintojen tekemiseen.” *Lukion horisontti*, s. 80. Katso myös *Kaikkien aikojen historia*, s. 112, *Forum*, s. 86, sekä *Muutosten maailma*, s. 89.

⁵⁶⁹ Tarkka kartoitus vuoden 1632 inkvisitiotuomiosta, joka sisältää nykytutkimuksen tulokset, löytyy esim. David Lindbergin artikkelista, Galileo, The Church and The Cosmos, s.33–60, teoksessa toim. Lindberg ja Numbers 2003, sekä myös J. Heilbronin kirjassa Galileo 2010.

⁵⁷⁰ Tämä myyttinen tarina on muunnos tarinasta, joka alun perin koskee luultavasti Cesare Cremoninia. Hän oli aristoteelikko, joka *katsoi* teleskooppiin, mutta epäili havaintoja juuri tästä syystä. Teleskooppihavainnot olivat vielä epäselviä johtuen laitteiden kehittämättömyydestä. Aristoteelikkojen kieltäytymisestä katsoa teleskooppiin tuli esimerkkitarina aristoteelikkojen typeryydestä ja ennakkoluuloisuudesta. ”This behavior, made famous in Galileo’s later lampoons, has become the trademark of the purblind philosopher.” Heilbron 2010, s.195.

tuomiolla. Galilei on tässä kuvassa ylväsryhtinen, peloton filosofitutkija. Inkvisiittorit ja paavi ympäröivät vanhuksen, ja taustalla näkyy huppupäinen kiduttajainkvisiittori.⁵⁷¹ Marttyyripiirrettä vahvistetaan vielä monipuolisella tekstillä sekä kolmannella kuvalla, jossa tieteen toinen marttyyri, Giordano Bruno poltetaan. Kirja mainitsee katolisen kirkon kymmenen kertaa luonnontieteen ja totuuden vastustajana.⁵⁷² Galileista taas luodaan kuva ylivertaisena nerona, joka vakiinnutti yksin uuden maailmankuvan. Kun ajatellaan tieteen vallankumouksen kuvasta kokonaisuudessaan, Galileihin käytetty palstatila ja dramaattinen kertomus peittävät alleen kaiken muun luonnontieteen historian.⁵⁷³

Lukion horisontti korostaa myös katolisen kirkon sinnikästä luonnontieteen vastustusta. Kirja ei tee Galileista marttyyria vaan ylivertaisen neron, jonka keksintöjen varaan nykyfysiikka perustuu, sillä juuri Galilei perusti uudenaikaisen luonnontieteellisen ajattelun.⁵⁷⁴ Tiedeyhteisö jää kokonaisuudessaan Galilein varjoon, sillä hän on kehittänyt kokeellisen luonnontieteen uuden metodin, jonka muut sitten omaksuvat. ”Luonnontieteen isä”⁵⁷⁵ saa osakseen neropalvontaa. Dokumenttina käytetään Galilein profeetallista lausuntoa: ”Filosofia on kirjoitettu suureen teokseen, joka alati on avoinna silmiemme edessä – tarkoitan maailmankaikkeutta – mutta jota emme kykene ymmärtämään, ellemme ensin opi sen kieltä ja käsitä sen merkkejä. Tämä teos on kirjoitettu matematiikan kielellä ja sen merkkejä ovat kolmiot, ympyrät ja muut, joita tuntematta on mahdoton ymmärtää siitä sanaakaan ja joihin perehtyminen ihminen vaeltaa pimeyden sokkelossa.”⁵⁷⁶

Dokumentin jälkeen tekstissä kuvataan lyhyesti, kuinka ennustus kävi toteen.⁵⁷⁷ Galilei oli taitava retoristen keinojen käyttäjä, propagandisti, poliitikko, keskustelija, kirjoittaja ja väittelijä. Hänen kirjoituksensa liittyivät aina johonkin aikalaiskeskusteluun. Kun teksti irrotetaan asiayhteydestään ja otetaan tukemaan omia historiallisia käsityksiä, kirjoitetaan whig-historiaa. Näin Ernst Machkin menetteli Galilein suhteen.

Myös *Kaikkien aikojen historia* käyttää paljon tilaa Galilein tapaukseen. Luvun otsikko on *Invisitio ja tieteen marttyyrit*. Siinä katolisesta kirkosta luodaan roisto: ”Modernia luonnontiedettä vastaan taistellessaan oli katolinen kirkko tuomittu häviämään.”⁵⁷⁸ Eurooppalaiset protestanttiset ruhtinaat suosivat tiedettä ja tarjosivat turvapaikkoja tiedemiehille. Toisaalta kirja muistuttaa, että protestanttisissa valtioissa oli poikkeuksia tässä suhteessa, sillä esimer-

⁵⁷¹ *Forum*, s. 90.

⁵⁷² *Forum*, s. 8–11 ja s. 88–89. Marttyyriteema saa jatkoa Giordano Brunosta, jonka polttaminen kerrotaan tarkasti. *Forum* uhraa tilaa kookkaille kuville, jotka ovat romantiikan ajan maalauksia. Oppilaat voivat pitää niitä ”dokumentteina”, vaikka niillä on alun perin ollut poliittinen tarkoitus (luonnontieteen propagoiminen). Syvennysosassa on opetuksen avuksi kysymyssarja, jossa pohditaan Galilein ja muiden nerojen vainoamista. Lisäksi opiskelijoiden tulee listata historian henkilöitä, jotka ovat eniten vaikuttaneet historian kulkuun. Uuteen tutkimukseen viitataan seuraavasti: Galilein on kerrottu sanoneen kuuluisat sanat: *Se pyörii sittenkin*. ”Ilmeistä on, ettei hän sanonut näin, vaan sanat on sijoitettu hänen suuhunsa myöhemmin.” *Forum*, s. 10.

⁵⁷³ Kertomus vahvistetaan Charles Darwinin yhteydessä, *Lukion horisontti*, s. 140.

⁵⁷⁴ *Lukion horisontti*, s. 83.

⁵⁷⁵ *ibidem*, s. 82. Kirjassa on suuri, vaikuttava vuodelta 1880 olevan maalaus Miltonin vierailusta vangitun Galilein luo. Sokea vanhus on ylväs ja vaikuttava ajattelija vielä vanhanakin. Milton kuuntelee intensiivisesti Galilein sanoja. s. 83.

⁵⁷⁶ *Lukion horisontti*, s. 84.

⁵⁷⁷ *ibidem*

⁵⁷⁸ *Kaikkien aikojen historia*, s. 113.

kiksi Martin Luther vastusti kopernikanismia ja Bruno julistettiin myös protestanttisissa valtioissa kirkonkiroukseen.⁵⁷⁹ Lisäksi kirjassa on Galilein tapauksesta monia ajantasaisia tulkin-toja, jotka antavat mahdollisuuden aiheen syventämiseen ja tuntikeskusteluun. Vaikka tarina nousee tekstistä esiin ja Galilei saa kirjassa kohtuuttomasti tilaa, voidaan *Kaikkien aikojen historiaa* pitää luonnontieteen historian kertomusten ajantasaisuuden osalta parhaana kirjana.

Myös *Muutosten maailmassa* on voimakas eeppisen romanssin tarina. Modernin tarina hah-mottuu selkeästi, vaikka itse luonnontiedettä käsittelevä teksti on epäselvää: ”Löytöretket loivat edellytykset tarkastella *ennakkoluulottomasti* ympäristöä.” ... ”Aristoteleen ja Ptole-maioksen maailmankuva romutettiin (LH: tosin koskaan kertomatta, millaisia nämä maail-mankuvat oikein olivat)...monet torjuivat heliosentrisen mallin järjenvastaisena.”... ”Uuden maailmankuvan vakiinnuttaminen ja todentaminen jäi *Galilein harteille*, jota hän havainto-jensa ja laskelmiensa pohjalta jääräpäisesti puolusti.” (kursiivit LH) Paavi vastasi luonnontut-kijoille 1616 ja julisti uuden mallin ”filosofisesti typeräksi ja absurdiksi”. Galilei puolusti ajatuksiaan jääräpäisesti: ”Inkvisitio pakotti hänet...”⁵⁸⁰ Empirismin oikea metodi keksittiin; katolinen kirkko, pimeyden voima vastusti totuutta, mutta rohkeus ja sitkeys palkittiin ja totuus voitti.

Muutosten maailma on erilainen oppikirja luonnontieteen historian osalta kuin muut. Se sisäl-tää laajoja tiedemiessyvennyksiä. Nämä syvennykset kertovat esimerkiksi nerosta, Isaac Newtonista, jonka nerous lähenteli hulluutta. Tämä on tyypillistä romanttista neroidealisaatio-ta. Kirjan mukaan: ”Sir Isaac Newton kasvoi isovanhempiensa luona. Lapsena hän halusi polttaa vihaamansa isovanhemmat ja heidän kotitalonsa. Aikuisenakin hän oli luonteeltaan epäilevä ja kritiikkiä kaihtava. Niinpä hän viivytteli julkaisua...”⁵⁸¹ Myös *Aikakirja* toistaa Valistuksen eeppisen romanssin mutta paljon laimeammin.⁵⁸² Tekstissä ei katolista kirkkoa tiedon vastustajana mainita ollenkaan.⁵⁸³

⁵⁷⁹ Tehokkaaseen tarinaan kuuluu vihollinen. Tämän roolin saa totuuden vihollinen, katolinen kirkko. *Kaikkien aikojen historiassa* on luku ”Inkvisitio ja tieteen marttyyrit”, lukuessa myös Giordano Brunosta tehdään luonnontie-teen marttyyri. *Kaikkien aikojen historia*, s. 114.

⁵⁸⁰ *Muutosten maailma*, s. 85.

⁵⁸¹ *ibidem*, s. 86. Ote on asiayhteydestä irrotettu lause Newtonin varhaisesta käsikirjoituksesta Waste Bookista ja liittyy uskonnolliseen kasvatukseen: syntiin, tunnustukseen ja katumukseen. Einsteinista on samantyyppinen luon-nehdinta: ”Kouluvuosina hän poistui koululuokasta opetukseen tyytymättömänä. Matematiikan opettaja kuvasi oppilastaan laiskaksi koiraksi, joka ei välittänyt matematiikasta hippuakaan. Myöhemmällä iällä musiikki auttoi hajamielistä professoria selkiyttämään ajatuksiaan. Muutoinkin Einstein oli arkiaskareiden suhteen täysin välinpitä-mätön tai täysi tumpelo. Puhdas matematiikka on omalla tavallaan loogisten ajatusten runoutta... Yhtälöt ovat minul-le tärkeämpiä kuin politiikka, koska politiikka on vain tätä päivää, mutta yhtälöt ovat ikuisia...”. Urallaan hän todisti sen, että tieteen teko ei ole kiinni välineistä. Professorin ainoat työvälineet olivat lyijykynä ja, muistilehtiö ja aivot.” *Muutosten maailma*, s. 149.

⁵⁸² Myös *Aikakirjassa* Newtoniin liitetään neroihailua: ”Newton sai jo aikalaisilta palvovaa ihailua, Newton kaikkien aikojen juhlituin tiedemies, oli tavattoman laaja-alainen ...Mietiskellessään jotain ongelmaa hän unohti nukkua ja syödä. Kertomusta siitä, että hän keksi gravitaatiolain nähdessään omenan putoavan, kerrottiin jo hänen elinaika-naan.” *Aikakirja*, s. 101. Kertomus omenasta sai alkunsa muutamaa kuukautta ennen Newtonin kuolemaa, siitä tuli eräs tärkeitä romantiikan ajan osasia Newton mytologiaan. Patricia Fara on purkanut tätä neromyyttiä kirjassa New-ton, the Making of the Genius (2006). *Aikakirjassa* Newtonin tiedemieskuva on hyvin esillä, tekstissä vihjataan moniin Newtonin erityispiirteisiin, mutta jätetään selittämättä, mikä Newtonin elämäntyössä on internalistisesti keskeistä ja miksi Newtonia pidetään tieteen vallankumouksen kannalta keskeisenä hahmona. Päällimmäiseksi jää mielikuva poikkeusyksilöstä, erikoislaatuudesta nerosta. *Aikakirja*, s. 101.

⁵⁸³ Kirkon asema tiedon vihollisena vahvistetaan myöhemmin Charles Darwinin yhteydessä. *Aikakirja*, s. 149.

5.3.2 HISTORIAN OPPIKIRJOJEN SISÄLTÖ HPS-OPETUKSEN KANNALTA

Kontekstuaalinen, internalistinen luonnontieteen historian kuvaus edellyttää *opetuksellisesti* tarkkaa käsitteellisten järjestelmien kuvausta, vertailua eri järjestelmien välillä sekä pyrkimystä ymmärtää käsitejärjestelmien rationaalisuutta sisältäpäin. On tärkeää, että opiskelijat oivaltavat, että ilmiöitä voidaan hahmottaa eri tavalla ja niille voidaan antaa erilaisia selityksiä. Tämä oli Thomas Kuhnin omaa maailmankuvaa avartanut oivallus, ja niinpä hän kuvasi monia erilaisia toisiaan seuraavia teoreettisia järjestelmiä ja niiden välisiä paradigmaattisia eroja. Tämän perinteen mukaisesti luonnontieteen teorioita ja käsitteitä opetetaan vieläkin.⁵⁸⁴ Erilaisten teorioiden, niiden rakenteiden ja metafysisien ennako-oletusten tarkastelua pidetään HPS-kokeiluissa opiskelijoiden ajattelun kehityksen kannalta hyödyllisenä.

HPS-opetustutkimuksessa pidetään hyödyllisenä, että kontekstuaaliseen käsittelyyn otetaan useita selitysjärjestelmiä ja useita eri tapoja tehdä luonnontiedettä.⁵⁸⁵ Jokaisella luonnontieteen alan teorian muutoksella on oma uniikki historiallinen kuvaustraditionsa. Lisäksi HPS-opetuksessa nykyisin myönnetään, että yksikään teorianmuutos ei tapahtunut sosiaalisessa tyhjiössä, vaan vallitseva yhteiskunta on otettava muutoksen historiallisessa kuvauksessa huomioon.⁵⁸⁶ Tämä on internalistinen perinne, joka halutaan opetusversiona mukaan HPS-opetuskokeiluihin.⁵⁸⁷

Luonnontieteen historian HPS-opetuskokeiluissa on oltu samaa mieltä siitä, että luonnontieteen opetuksessa ei sinällään opeteta autenttista luonnontiedettä eli nykytieteen valideja tutkimuskohteita, teorioita ja menetelmiä. Silti luonnontieteellisessä tiedossa on sinällään yleisesti merkityksellisiä piirteitä, joiden tuntemus kuuluu yleissivistykseen. Sama koskee luonnontieteen historiaa.

Tieteen vallankumouksen ja myös muiden luonnontieteen teorianmuutosten opettamista pidetään opetusmielessä perusteltuna.⁵⁸⁸ Tällöin luonnontieteellisen teorian muutos pitää opettaa

⁵⁸⁴ Erityisesti HPS-tyyppisessä tutkimuksessa tutkitaan luonnontieteen teorioiden muutosta ja rakenteita. Thomas Nickles, *The Philosophy of the History of Science And History of Science*, Osiris 1995; David Hull, *The Professionalization of Science Studies: Cutting Some Slack, Biology and Philosophy* 2000, ja Thomas Nickles, *Theories of Scientific Development* teoksessa toim. J. Heilbron 2003 ja H. Floris Cohen, *Scientific Revolutions*, teoksessa toim. J. Heilbron 2003

⁵⁸⁵ Brush 1988 ja MacClellan ja Dorn 1999.

⁵⁸⁶ Esimerkiksi laaja luonnontieteen historiallinen opetussovellutus heiluriliikkeestä (pendulum) pyrkii opettamaan seuraavia asioita: Ensimmäinen taso on klassisen mekaniikan peruslait. Toinen taso on luonnontieteen tutkimuksen peruspiirteet: havainnot, mittaaminen, havaintoaineiston kokoaminen, muuttujien hallitseminen, idealisaatio ja matemaattisten kuvaajien hallitseminen. Kolmantena tasona on, miten luonnontiede on vuorovaikutuksessa yhteiskuntaan, kulttuuriin ja teknologiaan (ajamittaus, purjehtiminen, ajan standardisointi ja koko maailman siirtyminen mitattavan ”mekaanisen ajan” piiriin jne.); Michael Matthews, *Science & Education* 2004.

⁵⁸⁷ HPS-opetussovelluksia *Science & Education* -lehdessä on kaikista keskeisistä luonnontieteen vallankumouksista: *evoluuotioteoria*, David J. Depew, *Darwinian Controversies: An Historiographical Recounting*, *Science & Education* 2009; Kostas Kampourakis ja William F. McComas, *Charles Darwin and Evolution: Illustrating Human Aspects of Science*, *Science & Education* 2010; *klassinen mekaniikka*, Maurice Ebison *Newtonian in mind but Aristotelian at heart*, *Science & Education* 1993; *atomitutkimus*, Rosario Justi ja John Gilbert, *History and Philosophy of Science through model: some challenges to the model "atom"*, *International Journal to the Science Education* 2000, s. 993–1009; *dynamiikka*, Hayati Seker ja Laura Welsh, *The Use of History of Mechanics in Teaching Motion and Force Units*, *Science Education* 2006. *Klassisen mekaniikan* opetussovellus esimerkkinä kontekstuaalisuudesta kaksoistee-manumerosta *Science & Education* 2004.

⁵⁸⁸ Park ja Daston, teoksessa toim. Park and Daston 2006: ”Its drama of destroyed and reconstructed recruited many historians of to the discipline and still entrances students to introductory courses”, s.13. Luonnontieteen historiointi-

riittävän perusteellisesti eli kontekstuaalisesti. Luonnontieteen historioiden yleiskuvauksissa joudutaan turvautumaan opetukselliseen likiarvoon, ja käytännön soveltajat pyrkivät etsimään opetukseensa sopivan kontekstuaalisen tason. Opetuksessa ei ole kyse luonnontieteen historian tutkimuksesta vaan sen opettamisesta opiskelijoille, joista ei todennäköisesti tule historian- tai luonnontieteen tutkijoita.

Lukion historian opetuksessa joudutaan käsittelemään pitkiä aikaperiodeja, kuvaamaan laajoja yhteiskunnallisia kokonaisuuksia ja tekemään suuria historiallisia yksinkertaistuksia.⁵⁸⁹ Opetuksellinen likiarvo johtaa väistämättä presentismiin, luonnontieteen historian erääseen tulkintavirheeseen, koska joudutaan käyttämään nykyaikaisia käsitteitä kuvattaessa menneen aikakauden ilmiöitä. Nämä virheet ovat kuitenkin väistämättömiä opetuksessa. Niinpä HPS-opetus on yleistyksissään lähellä tieteenfilosofiaa, koska se ei pyri kattamaan luonnontieteen historiaa kokonaisuudessaan eikä esittelemään kaikkia nykytutkimuksen painopistealueita vaan keskittymään muutamaa hyvin valittuun teoriaan, jotka valaisevat syvällisesti luonnontieteen luonnetta.⁵⁹⁰ Tällaista HPS-kontekstuaalisuutta ei suomalaisissa lukion historian oppikirjoissa esiinny lainkaan.⁵⁹¹ Yhtään luonnontieteen historian teoriaa ei kuvailla internalistisen kontekstuaalisuuden edellyttämällä tarkkuudella. Oppikirjat käyttävät vanhaa, valistuksen aikaista kehityskertomusta luonnontieteen historiasta, ja sen käsitys metodin vallankumouksesta ei anna mahdollisuuksia kontekstuaalisuuteen. Luonnontieteiden internalistisessa historiassa oppikirjojen olisi päästävä Alexandre Koyrén ja Thomas Kuhnin jälkeiseen aikaan.

Suomalaisen lukion historian oppikirjoissa ei myöskään esitetä pitkää luonnontieteen historiallista perinnettä. Kirjoista ei löydy luonnontieteellistä debattia, eikä niissä myöskään kuvata luonnontieteeseen liittyvää epävarmuutta tai eri selitysten välistä kilpailutilannetta. Oppikirjoissa luonnontieteen teorit syntyvät valmiina suoraan havainnoista; tieteellisiä maailmankuvia tai metafysiisiä olettamuksia ei ole olemassa. Havainnot ovat aina oikeita ja tarkkoja, ja myös kokeet onnistuvat täsmällisesti. Tiede ei ole oppikirjojen mukaan koskaan joutunut harhateille, koska oikea metodi on taannut luonnontieteen jatkuvan etenemisen oikealla polulla ja uusien tieteenalojen synnyn.⁵⁹² Esimerkiksi *Muutosten maailma* kertoo ”metodin” jälkei-

joista Steven Shapin (*The Scientific Revolution*, 1996) on jyrkän kielteinen tieteen vallankumouksen opetuksen suhteen: ”Tieteen vallankumous sai Alexandre Koyrén muotoilemana yleisen hyväksymisen ...se johti aatehistorialliseen käsitykseen ideoiden vapaasta virtauksesta omassa ’käsitteellisessä avaruudessaan’...Nykyisin historioitsijat haluavat ymmärtää konkreettiset inhimilliset käytännöt, jotka synnyttivät ideat ja mitä tutkijat tekivät vahvistaakseen havainnot tai todistaakseen koejärjestelyt. Ennen kaikkea historioitsijat ovat kiinnostuneita, keitä olivat ’ihmiset’, jotka toimivat historiallisissa yhteiskunnissa.” Näin koyrélainen ”aatehistoria ”on vanhanaikaista, eikä sitä myöskään pidä opettaa.” Shapin 1996, s. 2–5.

⁵⁸⁹ Mike Tosh (2003, 2006) argumentoi hallitun presentismin puolesta. Luonnontieteen historian kehitys (yhdistettynä tekniikkaan) on epäämätön fakta ja se määrittelee kiinnostavan ongelman. Nick Jardine: ”All too often recent historians of science have *abandoned common sense* in their flight from presentism.” Nick Jardine, *Butterfield and History of science of Today*, *History of Science* 2003, s.57, sekä myös Nick Tosh, *Historiography, relativism and the Sociology of Scientific Knowledge*, *Studies in History and Philosophy of Science* 2006.

⁵⁹⁰ HPS-opetustutkijat hyväksyvät laajasti machilaisen opetusperiaatteen: keskeiset teemat opetetaan hyvin. Opetuksessa ei voida esitellä jonkin fragmentoituneen tieteenalan tämänhetkisiä tutkimushankkeita (vrt. Big Picture – problematiikka). Fysiikan opettajat eivät myöskään kykene opettamaan nykyfysiikan ajantasaista tutkimusta (jos fysiikkaa voidaan pitää yhtenäisenä tutkimusalana). Kuitenkin oppikirjoissa pyritään ”yleiskatsauksellisuuteen”. Pirjo Karvinen (1994) pitää reaaliaineiden oppikirjojen ”yleiskattavuuden maniaa” ongelmana. Vaikka NOS-teemat ovat ristiriitaisia, ne kuitenkin antavat *pedagogisen tähtäyspisteen* oppikirjojen sisällöille.

⁵⁹¹ Oppikirjoista kontekstualistisin on *Kaikkien aikojen historia* (s. 113), tosin siinäkin ei pyritä esittelemään teoriakokonaisuuksia.

⁵⁹² *Muutosten maailma*: Ptolemaiolaista planeetta teoriaa tai aristoteelista liiketeoriaa ei selitetä, joten muutokselle ei anneta lähtökohtaa. Käsitteellistä pohdintaa ei ole havaittavissa. Kirjassa mainitaan Newtonin kehittämä voiman

sen luonnontieteen kehitysprosessin tiivistetysti: ”*Principiasta* ja *The First Book of Optics* -kirjoista tuli vuosisadoiksi luonnontieteen kulmakiviä. Muut tiedemiehet tokaisivat yksiselitteisesti. ”Kaikki on valmista eikä mitään ole enää tehtävissä maailmankaikkeuden tutkimisessa.”⁵⁹³

Oppikirjojen historiaticulkinga perustuu valistuksen kertomukseen, comtelaiseen positivismin ja neromyyttiin. Kirjat eivät käsittele luonnontiedettä mikrohistoriallisesti. Internalistinen kontekstualismi ja mikrohistoriallinen sosiaalihistoriallinen tulkinta tukisivat sitä, että luonnontieteen historian suurmiehet voidaan kokonaisuutta ajatellen asettaa järkeviin mittoihin. Yksittäinen tutkija (luonnonfilosofi, tiedemies jne.) voi olla vain pieni osa pitkässä historiallisessa jatkumossa ja aikansa tiedeyhteisössä. Kun valitaan tarpeeksi pitkä aikajänne, 200–300 vuotta, saadaan aatehistoriallinen muutos näyttämään suurelta. Tämä kertomus, jota usein kutsutaan koyrélaiseksi kertomukseksi, on hyvä opetuksen väline, ja sitä HPS-opettajat ovat käyttäneetkin hyväkseen. Se kaipaa kuitenkin tarkennuksia, sillä suuri maailmankuvallinen muutos ei varsinaisesti tapahtunut kerralla yksittäisen tutkijan päässä, heuristisena, mystisenä oivalluksena vaan yhteisöllisenä muutoksena pitkän ajan kuluessa. Koyrélainen kertomus väärin kerrottuna on ns. myyttinen kertomus.⁵⁹⁴ Sen viehätys on lähinnä älyllinen, eikä varsinaisesti sisällä henkilöhistoriaa. Koyrélaista kertomusta, joka olisi käsitteiden ja teorioiden oppimisen kannalta tehokas, ei historian oppikirjoissa esiinny.

5.3.3 EKSTERNALISMI OPIKIRJOISSA

Kaikki edellä mainitut puutteet ovat keskeisiä HPS-opetuksen teemojen kannalta, ja tarkasti tulkittuna HPS-opetus (myös sitä ohjaavat NOS-teemat) vie luonnontieteen historian opettamisen eksternalistiselle alueelle. Luonnontieteen yhteiskunnallisuuden sisällyttäminen opetukseen on tarpeen, jotta presentistisen HPS-opetuksen idealistisille korostuksille saadaan vastavoima. Tällöin on oppikirjoissa pyrittävä tuomaan esiin, että tutkijoilla on jaettu tieteilinen maailmankuva, jonka kautta faktat ja havainnot tulkitaan ja jonka perusteella uusien ideoiden hyväksyttävyyttä arvioidaan. Tiedeyhteisö värvää jäsenensä ja antaa näille valmiin roolimallin: tällainen on luonnontutkija. Tutkija tietenkin voi hyväksyä roolimallin sellaisenaan, mutta hän voi myös pyrkiä muuttamaan omaa asemaansa yhteisössä tai muuttamaan

käsite: ”Newton oli paljastanut luonnonvoiman, joka piti maailmankaikkeutta koossa. Gravitaatiolakia voidaan pitää liki kaksi vuosisataa kestäneen tähtitieteellisen maailmantutkimuksen huipentumana. Newtonin teorian jälkeen maailmankaikkeus oli selkeä ja mielekäs, ja teoria selitti monia arkielämän ilmiöitä”. *Muutosten maailma*, s.89. *Lukion horisontti*: Ptolemaiolaista planeettateoriaa tai aristoteelista liiketeoriaa ei selitetä, joten muutokselle ei anneta lähtökohtaa. Kirjassa selvitetään ansiokkaasti monia arkihavaintojen mukaisia näkemyksiä maan liikkumattomuudesta ja selitetään Kopernikuksen teorian puutteita. Newtonin gravitaatiolakia selitetään hyvin. *Lukion horisontti*, s.82. *Forum*: Ptolemaiolaista planeettateoriaa tai aristoteelista liiketeoriaa ei selitetä, joten muutokselle ei ole lähtökohtaa. Ainoa teoriaa selvittävä osa on Principian sisällön kuvaus. *Forum*, s.90. *Aikakirja*: Hyvä lähtökohta liikkeen ongelman selittämiseen on viittaus aristoteeliseen liiketeoriaan Galilein pudotuskokeiden yhteydessä. Koe paljasti yksiselitteisesti, että erisuuruiset painot putosivat yhtä nopeasti. Muuta kontekstuaalisuutta teorioiden käsitteiden suhteen ei löydy. *Aikakirja*, s.78.

⁵⁹³ Muutosten maailma, s.86.

⁵⁹⁴ Harvat tutkijat nykyisin yhtyvät Burtin, Butterfieldin ja Koyré'n väitteisiin, että suuri tieteen vallankumous on ”modernin maailmankuvan ja mentaliteetin alkuperä”. Park ja Daston toteavat: ”Yet the story of the Scientific Revolution retains its hold, even in those scholars who have contributed to its unraveling. Part of the reluctant relinquish the historical narrative is due to the brilliance with which it has been told and retold in books that are deservedly numbered among the classic of the history of science.” Park ja Daston, teoksessa toim. Park ja Daston 2006, s.14.

roolimallia. Tiedemies on aina aktiivinen internalistinen tutkija mutta myös aktiivinen sosiaalisen asemansa suhteen.⁵⁹⁵ Uudet keksinnöt syntyvät luonnontieteen perinteessä ja ovat tiedeyhteisön hyväksymiä ongelmia. Niistä keskustellaan tiedeyhteisön yhteisillä julkaisukanavilla. Tässä mielessä tieteen ”keksinnöt” ovat myös sosiaalisia tai ”sosiaalisesti konstruoituja”.⁵⁹⁶

Luonnontieteen historian opetustutkija Douglas Allchin edustaa tieteensosiologista opetuksellista tulkintaa. Hänen mukaansa tieteensosiologian opetuksen esteenä on myyttinen luonnontieteen historian tulkinta, joka on useimmiten *suurmieshistoriaa*. Siinä historian toimijoiksi nostetaan ihmiskunnan nerot, jotka ”keksinnöillään” vievät eurooppalaista kulttuuria eteenpäin. Oppikirjoissa tämä näkyy siten, että kirjoissa kerrotaan vain keksintö ja keksijän nimi (usein kansallisuus) ja usein myös anekdootteja keksijästä. Itse keksimisessä tapahtuvaa käsitteellistä tai teknistä muutosta tai keksimisen sosiaalisia ehtoja ei kerrota.⁵⁹⁷

Kaikki edellä tarkastellut suomalaisen lukion historianoppikirjat, paitsi *Epos*, ovat tässä mielessä luonnontieteen suurmieshistorian edustajia. Kirjoista esimerkiksi *Aikakirja* kiteyttää luonnontieteen vallankumouksen seuraavasti (kursiivit LH): ”Luonnontieteet lähtivät nousuun *muutaman miehen ansiosta*: René Descartes ja Francis Bacon loivat tieteellisen *metodin* ja Galileo Galilei toteutti sen tähtitieteen alalla, William Harvey taas lääketieteessä. Isaac Newton selvitti koko luonnonjärjestystä määräävät lait. Näiden ja tusinan muun luonnontieteen pioneerin taustalla ei ollut mikään yhteinen aate. He eivät etsineet omaa, eivät valtionsa, eivätkä kirkkokuntansa hyötyä. Useimpia ei kiinnostanut juuri muu kuin *totuuden etsiminen*.”⁵⁹⁸ Myöhemmin oppikirjassa kuvataan, kuinka helposti, yhdellä kokeella liikkeen ongelma onnistuttiin selvittämään (kursiivit LH): ”Galilei oli ensimmäinen *moderni luonnontutkija*. Häntä ei kiinnostanut luonnonilmiöiden syiden selittäminen, vaan ilmiöiden kuvaaminen. Tähän tarvittiin kokeita. Aristoteleen mukaan painavat kappaleet putoavat nopeammin kuin kevyet. Galilei nousi Pisan kaltevaan torniin ja pudotti sieltä puolen kilon lyijypainon ja viidenkymmenen kilon painoisen tykinkuulan. Ne tulivat maahan yhtä aikaa.”⁵⁹⁹

Epos on muihin tässä tarkasteltuihin oppikirjoihin verrattuna poikkeus sikäli, että kun lukion opetussuunnitelman perusteet 2003 määrittelee kurssin *Eurooppalainen ihminen* moderniksi luonnontieteen historian kuvauksen osalta, *Epos* on sisältöratkaisultaan luonnontieteen historian osalta *postmoderni*. Kirjassa ei käsitellä ilmiötä tieteen vallankumous vaan kirjoitetaan yleisestä historiallisesta murroksesta (kursiivit LH): ”Maailmankuvan muutos *ei ollut yksittäisen mielen aikaansaannos*. Kyseessä oli ajattelun ja *teknisten välineiden* murros, jota myö-

⁵⁹⁵ “The role that the social structure of science plays in science can be emphasized without using terminology that is calculated to imply epistemological relativism. Scientists form their beliefs in social contexts, but science is so constructed that scientists are not helpless pawns in the ineluctable grip of their societies.” Hull 2000, s. 66.

⁵⁹⁶ Useimmat HPS-tutkijat myöntävät tämän ja sisällyttävät luonnontieteen eksternalistisia piirteitä opetukseen. Jos taas väitetään, että luonnontieteellinen tieto on pelkästään sosiaalisesti konstruoituja, joudutaan ns. tiedesodan (Science Wars) taistelukentälle.

⁵⁹⁷ Allchin (2000, s. 8) toteaa artikkelissa How Not to Teach History of Science: “Studying how scientists were wrong in the past shows how correct ideas develop—and how to interpret reliability claims today.” Saman havainnon tekee Catharine Milne (1998).

⁵⁹⁸ Aikakirja, s.99.

⁵⁹⁹ Aikakirja, s.99–104. Tämä on tyypillinen Galilei-kuvauks: Galilein, puutteellisillakin instrumenteilla tehdyt, kokeet paljastavat heti todellisuuden. Vastapuoli, aristoteelikot ja katolinen kirkko, edustavat pimeyttä ja taantumusta, ja he sokeasti kieltäytyivät näkemästä totuutta.

hemmin on alettu *kutsua tieteen vallankumoukseksi*.⁶⁰⁰ Lause sisältää mielenkiintoisen modernin luonnontieteen historian kritiikin. Kirjan mukaan tieteen vallankumous on *historiallinen konstruktio* ja sen keskeinen piirre on tieteellisen maailmankuvan muutos.⁶⁰¹ *Eepoksen* tulkinta tieteen vallankumouksesta on, että aikakauden *mittaava henki* synnytti uuden tieteen. Mitä tällä ”mittaavalla hengellä” tarkoitetaan, ja miksi Euroopassa oli kehittynyt tällainen henki? Näihin kysymyksiin kirja ei vastaa.

Eepos käsittelee eksternalistisia piirteitä uuden tieteen synnyssä (kursiivit LH): ”Yhteistä varhaisille luonnontieteille ja myöhemmin hylätyille menetelmille oli perustuminen matemaattisiin suhteisiin, käsitys asioiden välisistä syy-yhteyksistä sekä *uusplatonismin* ja *hermetismin* filosofia. Ne pohjautuivat ajatukseen jumalan maailmankaikkeuden henkenä, joka oli läsnä kaikkialla, ja jota voitiin etsiä ilmiöiden olemusta etsimällä. Äärimmilleen johdettuna tuloksena oli *maailmankaikkeuden mystifiointi*.⁶⁰² *Eepoksen* lähtökohta on tieteensosiologian vahvan ohjelman symmetriaperiaate, joka on myös nykyisen luonnontieteen historiantutkimuksen lähtökohta. Sen mukaan kaikki aikakauden ilmiöt kuvataan samalla tavoin asettamalla mitään etusijalle, niinpä luonnontiede, uusplatonismi ja hermetismi saivat samantyyppisen kuvauksen kirjassa.

Oppimisen kannalta *Eepos* on hankala. Opiskelijalle annetaan suuri määrä tuntemattomia käsitteitä valitsematta opetuksellista painopistettä. Jos *Eepos* on tarkoitettu luonnontieteen historiaa ensimmäistä kertaa opiskeleville, ei ole todennäköistä, että opiskelijat ymmärtävät, mitä oppikirjan kirjoittaja oikein tarkoittaa tieteen vallankumousta kuvaavalla luvulla. *Eepoksen* sisältöratkaisu johtaa siihen, että tieteensosiologian kritiikin kohde, *modernin tieteen* *synty* jää kokonaan käsittelemättä.⁶⁰³

⁶⁰⁰ *Eepos*, s. 193.

⁶⁰¹ Internalistista luonnontieteen historiaa ei kirjassa ole ollenkaan. Se kuitataan seuraavasti: ”Kun Geronimo de Aguillar tavattiin kanootissa Jukatanin lahdella, hän oli huolissaan viikonpäivästä. Asioiden mittaaminen ja niiden välisten suhteiden päättelyminen oli löytöretkien edellytys. Se oli osa murrosta, jonka tuloksena syntyi uudenlainen maailmankuva ja sitä tukeva luonnontieteellinen ajattelu. Sen edellytyksiä olivat tekniset välineet, matemaattisten suhteiden taju sekä kontrolloituun ja rationaaliseen päättelyyn perustuva tieteenfilosofia.” *Eepos*, s.192.

⁶⁰² *Eepos*, s.194. Symmetriaperiaate tutkimuksessa on aiheuttanut keskustelua. Esimerkiksi Nick Tosh ottaa voimakkaasti kantaa nykyisen luonnontieteen historian tapaan kertoa tapahtumat ”toimijan” perspektiivistä ottamatta kantaa totuuteen. Hänen esimerkkinään on artikkeli, joka käsittelee alkemia. Artikkelin mukaan onnistuneesta 1600-luvun eksperimentistä, jossa alkemistin onnistui valmistaa lyijystä hopeaa. Artikkelista saa käsityksen, että alkemisti olisi onnistunut prosessissa. Toshin mukaan alkemisti ei ole missään tapauksessa voinut onnistua, ja hän pitää kummallisenä, että lukijat jätetään siihen käsitykseen. Kemiasta tietämätön saattaa uskoa sen todeksi. Tieteen tehtävä on (didaktisesti) antaa totuudenmukaista tietoa. Nykyluonnontiede selittää, miksi historiallisissa kokeissa epäonnistuttiin ja mikä koejärjestelyissä oli virheellistä. Tämä on pohja luonnontieteen historialliselle selitykselle, miksi jokin toinen tapa tutkia johti menestykseen. Tosh, Science, truth and history, Part I. Historiography, relativism and the Sociology of Scientific Knowledge, Studies in the History and Philosophy of Science 2006, s.695.

⁶⁰³ *Eepoksen* luonnontieteen käsittelyn päättää luku Tieteellisen maailmankuvan rajat: ”Vielä 1900-luvun alkua leimasi usko tieteellisen maailmankuvan yhtenäisyyteen. Tämän maailmankuvan ytimenä olivat Isaac Newtonin nimeen liitetyt mekaniikan peruslait. Luonnontieteellinen yksiselitteisyys ja objektiivisuus olivat usein myös yhteiskuntaa koskevan tiedon ihanteina. Kun newtonilainen maailmankuva murtui fysiikassa, se vaikutti myös yleisesti käsityksiin tiedon luonteesta. Tieteellisen maailmankuvan murrokseen vaikutti keskeisesti Albert Einsteinin 1905 julkaisema suhteellisuusteoria. Se lisäsi Newtonin kolmeen ulottuvuuteen neljännen. ”*Eepos*, s. 235. Mitä kirjoittajat tarkoittavat, sillä klassista mekaniikkaa, newtonismia tai luonnontieteen yleisiä piirteitä, sen sovelluksia tai myöskään yhteyksiä tekniikkaan ei ole kirjassa selitetty. On vaikea ymmärtää, miksi uusi neljäs ulottuvuus aiheutti epäluottamusta luonnontieteisiin?

Douglas Allchin korostaa luonnontieteen historian opetuksessa tieteen makrososiaalisia piirteitä.⁶⁰⁴ Makrososiaalisuutta kurssin *Eurooppalainen ihminen* -oppikirjoissa on kaikkiaan vähän. Tämä johtuu kurssin modernista rajauksesta, jossa automaattisesti rajautuu pois luonnontieteen yhteys teknologiaan. Luonnontieteen kehityksen ymmärtäminen edellyttää, että luonnontiedettä käsitellään kiinteässä yhteydessä teknologian kehitykseen.⁶⁰⁵ Tieteensosiologinen tutkimus on osoittanut luonnontieteen ja politiikan välisen kiinteän yhteyden. Eksternalistinen tulkinta on tuonut esiin luonnontieteestä uusia tärkeitä piirteitä. Luonnontieteen ja politiikan yhteydet ovat erityisen keskeisiä, kun käsitellään 1900-luvun tieteenhistoriaa. Tämänkin yhteys jää kurssin rajauksessa luonnontieteen historian ulkopuolelle.

Makrososiaalisena piirteenä historian oppikirjat mainitsevat 1600-luvun uudet tieteelliset seurat. Järjestöjen perustaminen selitetään kuitenkin positivistisella tavalla: suurmiehet, objektiiviset luonnontutkijat, olivat ilmestyneet historiaan ja etsivät suojaa taantumukselliselta kirkolta. Lopulta valtiokin ymmärsi tiedemiesten ahdingon. Ahdingon aiheuttaja ja totuuden vastustaja oli uskonto, erityisesti katolinen kirkko.⁶⁰⁶ Toinen luonnontieteen makrososiaalisia piirteitä käsittelevä kohta oppikirjoissa on kuvaus Charles Darwinin evoluutioteorian soveluksista yhteiskuntaan. Tämä osio on joka kirjassa, ja se painottaa selkeästi positivistista tulkintaa uskon ja tiedon välisestä ristiriidasta.⁶⁰⁷

Yhteenvetona voidaan sanoa, että tässä tarkastellut oppikirjat valitsevat kuvaustensa pohjaksi vanhimman luonnontieteen historian kerrostuman: valistuksen romanttisen eepisen tarinan, positivismin ja suurmiehetulkinnan. Tällä ratkaisulla menetetään opetukselliset hyödyt, joita HPS- ja STS-opetuskokeilut painottavat. Vaikka tieteensosiologian tutkimus ei tarkassa mikrokooppisessa tutkimuksessa voi nähdä luonnontieteiden kehityksen pitkää linjaa modernissa muodossa, se voidaan opetuksellisista syistä hahmottaa opetusteksteihin ja myös *Eurooppalainen ihminen* kurssiin, jossa ajallinen kattavuus on 2000 vuotta. Tällöin syyllystytään opetukselliseen presentismiin, mutta monet luonnontieteen historioitsijat hyväksyvät tämän silloin, kun on tarkoitus opettaa luonnontieteen historiaa noviiseille.

Internalistisessa mielessä mikään edellä tarkasteltu oppikirja ei täytä HPS-kokeilujen sisällöllistä vaatimusta, koska niiden luonnontieteen historian kuvaukset tukeutuvat positivistiseen luonnontieteen historian tulkintaan eivätkä nouse kontekstuaaliselle tasolle.⁶⁰⁸ Eksternalistisesta näkökulmasta *Eepos* on mielenkiintoinen kirja, koska sen lähtökohta on tieteenfilosofi-

⁶⁰⁴ Allchin, Science Education 2004 s. 934–947

⁶⁰⁵ Tämän teesin tieteensosiologit hyväksyvät, NOS -tutkijat, sekä uusimmat luonnontieteen historian popularisoijat. Esimerkiksi Peter Dear (2006) ja Margaret Jacob (2004) erityisesti korostavat teknologian ja luonnontieteen kehityksen yhteyttä.

⁶⁰⁶ Esimerkiksi *Forum*in mukaan katolinen kirkko sinnikkäästi vainosi tiedemiehiä. ”Kun yksittäisten tutkijoiden sijaan alkoi muodostua tiedeyhteisöjä, jotka kirjapainotaidon ansiosta saattoivat käydä tieteellistä keskustelua helpommin kuin aikaisemmin. Katolisen kirkon taistelu kokonaista tiedeyhteisöä vastaan oli vaikeaa, vaikka useat luonnontieteilijöiden teokset joutuivat edelleen kiellettyjen listalle. Valtiovaltakin ymmärsi tiedeyhteisön merkityksen...”*Forum*, s. 93. Lopullisesti uskonto nujerrettiin vasta 1800-luvulla, kun Darwin julkaisi evoluutioteoriaansa. *Forum*, s. 140. *Forumissa* näkyy erittäin voimakas valistuksen näkemys tiedon ja uskon sovittamattomasta ristiriidasta.

⁶⁰⁷ Esim. *Aikakirja*, s.149, *Forum*, s.140 ja *Lukion horisontti*, s.149. Tässä *Eepos* oli *internalistisesti* syvällisin: kirjassa mainitaan evoluution läpimurtoa edeltävä käsitteellinen kehitys, astronomian *nebulateoria* ja geologian *aikakäsityksen muuttuminen*. *Eepos*, s. 183. *Aikakirjassa* selitetään evoluutioteoria asiallisesti, eikä korosteta kirkon vastustusta kohtuuttomasti. *Aikakirja*, s. 148–150.

⁶⁰⁸ Esimerkiksi Matthewsilta (1994), sekä J.Solbesilta ja M.Traver (2003) löytyvät kriteerit hyvälle HPS kuvaukselle.

nen symmetria. Se avaa mahdollisuuden monipuoliseen tieteenhistoriallisen materiaalin käyttöön. *Eepoksessa* ei kuitenkaan sovelleta symmetriaa tiedeyhteisön paikalliselle tasolle, koska siinä ei kuvata käytännössä tiedeyhteisön metafyyysisiä maailmankuvia, ”tiedemiesten” erilaisia sosiaalisia rooleja ja niiden aktiivisia parantamisyrkimyksiä tai kerrota käytännön koikkeellisista tutkimuksista. Jos kirjan luonnontieteen mikrososiaalinen kuvaus tuottaa petty-myksen, *Eepos* on kuitenkin esimerkillinen luonnontieteen makrososiaalisuuden kuvauksessa, jota kirja hahmottaa myös konkreettisten esimerkkien avulla.

Kaikista kirjoista hahmottuu pääkertomuksena *valistuksen eepinen romanssi*. Erityisen voimakkaana se nousee esiin *Forumissa* ja *Aikakirjassa*. Tämä kertomus merkitsee, että luonnontieteen historian yhteisöllisyyttä ja yhteisön jakamia tiedemiesten maailmankuvia ei käsitellä, jää vain jäljelle pelkästään henkilöhistoria: keksintö, keksijä ja vuosi. Keksinnöt seurasivat toisiaan vääjäämättä whig-historian deterministisellä polulla ja soveltava tekniikka käänsi teorian talouden hyötykäyttöön. Objektiiviset havainnot vahvistivat luonnontieteen tutkimustulokset katolisen kirkon vastustuksesta huolimatta. Luonnontieteen kehitys tapahtui nerojen oikean metodin soveltamisen kautta. Historiassa suurin nero oli Galileo Galilei. *Aikakirja* ja *Muutosten maailma* ovat tässä eri mieltä ja nostavat länsimaisen luonnontieteen suurimmaksi neroksi Isaac Newtonin. Ne käyttävät tässä tyypillisiä kirjallisuudessa esiintyviä nerotarinoita. Jos luonnontieteestä sen internalistisista ja eksternalistista piirteistä ei kerrota mitään, vaan kerrotaan tiedemiesten erikoisista persoonallisuuden piirteistä, saadaan myyttinen kuva luonnonhistorian kehityksestä.

6. MITEN KEHITTÄÄ LUKION HISTORIAN KURSSIA EUROOPPALAINEN IHMINEN?

6.1 HISTORIAN OPPIKIRJOJEN PERUSTEELLA KIRJOITETUT OPISKELIJOIDEN LUONNON-TIETEEN HISTORIAN KOEASTAUKSET

DBR-tutkimusperinteessä pyritään hahmottamaan jokin opetussuunnitelmaan tai opetukseen liittyvä puute ja löytämään puutteelle ratkaisu.⁶⁰⁹ Onko olemassa jokin todellinen opetukseen liittyvä tarve kehittää luonnontieteen historian sisältöjä suomalaisen lukion historian opetukseen? Suomalaislukion historian oppikirjojen tieteenhistoriallisten osuuksien analyysi näytti viittaavaan siihen, että tällainen tarve on olemassa. Tulkinntalle antoi lisätukea Helsingin normaalilyseossa 2006–2007 toteutetun kokeilun tulos. Kokeilussa Helsingin normaalilyseon lukion opiskelijoista, jotka tenttivät itsenäisesti kurssin *Eurooppalainen ihminen* vain oppikirjan pohjalta, luotiin tutkimukseen ryhmä, *EurF*. Ryhmän tenttimänä oppikirjana oli Otavan *Forum 2, Eurooppalainen ihminen* (2006). Tässä ryhmässä oli 16 opiskelijaa. Opiskelijoille annettiin kokeeseen ohjeeksi, että tulevassa kurssikokeessa kysytään erityisesti luonnontieteen historian kysymyksiä, ja lisäksi pyydettiin, että he valitsisivat myös kirjallisen kurssityönsä luonnontieteen historiasta.⁶¹⁰ Kurssityöhön annettiin lähdevihjeitä, mutta muuten kurssityötä ei ohjattu. Kurssityön ajateltiin tukevan luonnontieteen historian koetehtäviin vastaamista.⁶¹¹

EurF-ryhmän kurssikokeiden esseitä arvioitiin opetuksen kehittämisen perustaksi luotujen kolmen luonnontieteen historian kehittämissä pölarin, internalistisen, eksternalistisen ja narratiivisen pölarin, kannalta. Alla olevassa asetelmassa luonnontieteen historian *IE-taso* vastaa luonnontieteen opetuskokeilujen HPS- ja STS-tavoitteita. Lisäksi narratiivipölarin kannalta tavoitteeksi asetettiin pyrkiä eroon luonnontieteen historian myyttisistä kertomuksista, joita ovat mm. romanttinen eepinen kuvaus luonnontieteen historiasta, positivistinen kertomus ja kertomusten suurmiespainotus. Symboli V merkitsee voimakasta myyttisten kertomusten esiintymistä; v taas merkitsee, että myyttisiä kertomuksia on jonkin verran. Nämä narratiivipainotukset estävät luonnontieteen historian korkeimman IE-tason saavuttamisen. Symbolit K ja k taas ovat kertomuksia, jotka ovat luonnontieteen historian opetuksen kannalta adekvaatteja ja suuntaavat vastauksia kohti IE-tasoa.

⁶⁰⁹ Juuti ja Lavonen 2006, s. 59.

⁶¹⁰ Näin useimmat opiskelijat menettelivätkin: aiheina olivat mm. Aristoteles (2 opiskelijaa), Galilei (2 opiskelijaa), Newtonin mekaniikka (3 opiskelijaa), Darwinin merkitys tieteelle (3 opiskelijaa) ja Freudin merkitys tieteenhistoriasa (3 opiskelijaa); loput teemat olivat aatehistoriaa koskevia töitä, aiheinaan Sokrates, Marx ja Nietzsche.

⁶¹¹ Näin ei kuitenkaan käynyt. Tiedekirjoitelmien taso ei noussut korkeaksi. Ne olivat lähinnä referaattitasoa. Opiskelijat käyttivät itselleen vieraita ilmaisuja eivätkä pystyneet hyödyntämään niitä koevastausten konteksteissa.

Asetelma 4: Vertailussa käytettyjen symbolien selitykset

<i>Internalistinen pilari</i>	Sisällön kuvaus
<i>I</i>	Opiskelija osoittaa hyvää ymmärrystä internalistisella tasolla luonnontieteen historiasta, ja hän käyttää luonnontieteen historiaa oikeissa vastauskonteksteissa.
<i>i</i>	Oppilas tietää käsitteet, mutta luonnontieteen historiallisten käsitteiden käytössä on horjuvuutta, eikä hän osoita, että todella ymmärtäisi käsitteet ja historialliset tosiasiat. Tämä voi johtua myös siitä, että tulkittavaa materiaalia on niukasti.
<i>0</i>	Oppilas ei tiedä tai ei vastaa ollenkaan.
<i>Eksternalistinen pilari</i>	Sisällön kuvaus
<i>E</i>	Opiskelija osoittaa hyvää ymmärrystä eksternalistisella tasolla tieteenhistoriassa ja käyttää eksternalistista luonnontieteen historiaa oikeissa vastauskonteksteissa.
<i>e</i>	Oppilas tietää käsitteet, mutta luonnontieteen historiallisessa kontekstikäytössä on horjuvuutta.
<i>0</i>	Oppilas ei tiedä tai ei vastaa ollenkaan.
<i>Narratiivipilari</i>	Sisällön kuvaus
<i>K, k</i>	Vastauksessa luonnontieteen historian opetuksen HPS- ja STS-tyyppisiä kertomuksia.
<i>V, v</i>	Voimakas positivistinen tulkinta (V) voi esiintyä kolmessa muodossa: romanttisena eeppisenä kertomuksena (esim. Galilein romanttinen tarina), ääripositivistisena kertomuksena (oikea – väärä, tieto – uskonto, tiede – katolinen kirkko) ja nerotulkinnan liiallisena painotuksena (myyttinen luonnontieteen historian nerohahmo).

EurF-ryhmän vastauksista esimerkkinä on seuraavana vastaus F16 (sulkeissa tutkijan kommentit luokittelukriteereihin kursiivilla liittyen):

”Tieteen vallankumous alkoi tähtitieteestä. Kun matematiikkaa ja luonnontieteitä alettiin tutkia enemmän ja haluttiin saada lisää tietoa (*yleinen selitys tieteen vallankumoukselle, haluttiin tietoa*). Ensimmäisiä tähtitieteilijöitä oli Nikolai Kopernikus. Hän tutki ja julkaisi tutkimuksensa aurinkokunnasta, että Aurinko oli keskipiste ja planeetat kiersivät sitä soikion tai ympyrän muotoisilla radoilla. Hän sanoi myös, että planeetat kiertävät maata ja maa pyörii kerran vuorokaudessa akselinsa ympäri. Idästä länteen. Hänen väittämiään vas-

taan alettiin kritisoidaan. Hänen seuraajiaan oli Galileo Galilei, joka vahvisti hänen väittämiään ja tutkimuksiaan (*tyypillisiä teonsanaselityksiä: tutki, sanoi, julkaisi, vahvisti, tiedonhalu kasvoi, sai vaikutteita*).

Tieteen vallankumouksen suurin kehittyminen tapahtui Newtonin aikaan. Tieteen vallankumous sai vaikutteita kun tiedonhalu kasvoi. Löytöretkiä tehtiin, haluttiin saada lisää tietoa uusista alueista. Tutkija Bacon perusti tutkimukset kokeelliselle ja empiiriselle tutkimuksille ja halusi tehdä hypoteeseja (*tyypillisiä historiaan istutettuja tieteenfilosofisia käsitteitä, hypoteesi ja empiirinen tutkimus, vailla vastaukseen liittyvää historiallista käyttöä*).

Newtonin aika oli siis tieteen kukoistusaikaa, kun Newton tutki liikettä ja kappaleita ja kehitti painovoimalain. Hänen jälkeensä tuli Albert Einstein, joka kehitti suhteellisuusteorian. Newtonin ajalla tutkimuksissa auttoivat myös uusien laitteiden synty (kaukoputki ja mikroskooppi). Saatiin enemmän tietoa. Myös lääketiede kehittyi (ruumiinavaukset) ja kemiaan saatiin uusia kokeita ja koeaineita. Myös matematiikka, fysiikka ja luonnontieteen kehittyivät (*tieteen syntyprosessin ajallinen logiikka tuottaa vaikeuksia*)."

Vastauksessa on oppikirjaan perustuvaa tietoa paljon ja siksi kurssiarvosana oli vastaajalla hyvä, mutta itse luonnontieteen historiallisia, tieteen vallankumoukseen liittyviä *tulkintoja* vastauksessa ei ole. Koska vastauksessa oli oikeita internalistisia faktoja, esimerkiksi aurinkokeskeisyys ja planeettojen radat, luokittelussa päädyttiin internalismi-ulottuvuudella luokkaan i. Eksternalistisia tulkintoja ei ollut, siis sillä ulottuvuudella luokka on 0. Vastauksessa on luonnontieteen historian myyttisen kertomuksen piirteitä ja voimakasta positivismia, joten narratiivisella ulottuvuudella päädyttiin luokkaan V. Vastauksesta puuttuvat teemoina muun muassa luonnontieteen historian perinne, eri maailmankuvien tulkinnat, luonnontieteen sosiaalisuus, maailmankuvissa ilmenevät puutteet, todisteet uuden teorian puolesta ja uuden tulkinnan verifiointi. Luonnontieteen historiallista prosessia kuvataan teonsanoilla: *alettiin tutkia, alettiin kritisoida, tutkija tutki ja julkaisi, tiedonhalu kasvoi*. Opiskelija käyttää vastauksessaan oppikirjan tieteenfilosofisia käsitteitä *empiirinen tutkimus* ja *hypoteesi*. Juuri ne mainitaan oppikirjoissa usein uuden tieteen ydinasioiksi, mutta ne esitetään teksteissä aina ilman historiallista kontekstia. Yllä olevassa vastauksessakin näyttää ilmeiseltä, että opiskelija on opetellut kyseiset käsitteet ja laittanut ne sitten vastaukseen ilman käyttök kontekstia.⁶¹²

Yleinen piirre EurF-ryhmän vastauksissa on yllä havaittu comtelainen, vahvasti positivistinen (V) tulkinta, johon liittyy myös myyttinen suurmiestulkinta. Se ilmeni seuraavanlaisina seloituksina, esimerkkinä vastaaja F5 (kursivoinnit LH):

"Newtonin lait *mullistivat* maailman. Hän *tyrmäsi* vanhat, vuosituhansia käytössä olleet *uskomukset* tieteen saralla. Loogiset havainnot ja matemaattiset teoriat todistivat mm. kappaleiden välistä gravitaatiovoimaa. Hänen teoriansa *heitti roskakoppaan yleiset harhaluulot*, joihin *ihmiset ympäri maailman* olivat *sokeasti* luottaneet."

Opiskelija F13 kirjoittaa vastaavasti (kursivoinnit LH):

⁶¹² Tenttikirjana olleen oppikirjan puutteet huomioon ottaen voidaan sanoa, että seuraavat vastaajat kirjoittivat onnistuneen koevastauksen: F1, F5, F10, F15 ja F16. Todennäköisesti he olivat lukuineet oppikirjan huolellisesti, mutta kyseinen oppikirja ei anna mahdollisuuksia kirjoittaa luonnontieteen historiasta vastausta, joka olisi luonnontieteen historian internalistisen ja eksternalistisen tulkinnan kannalta hyvä.

”Newtonille kiitos, että asioihin perehdyttiin ja tutkittiin uskomatta aisteihin, vaan faktoihin. Kaikki antiikin aikainen tieto menetti pohjan, kun tilalle tuli kumoutumattomia faktoja. Paluuta entiseen ei ollut, vaan siitä alkoi tieteen nousukausi.”

Tulkinta sisältää voimakkaan kielteisen kannan metafysiikkaan ja uskontoon. Se on esimerkki comtelaisesta kertomuksesta, jossa tieteen traditio leikataan irti historiasta. Piirre on yleinen ryhmän vastauksissa, tosin ilmaukset ovat usein laimeampia kuin yllä. Usein positivistinen tulkinta sisältää myös romanttisen vivahteen totuuden ja pahuuden kamppailusta (luonnontieteen ja uskonnon konfliktiteoria), kuten F3:lla (kursivointi LH):

*”...kirkko on aina pyrkinyt tukahduttamaan uudet teoriat ja aatesuunnat... katolinen kirkko...auttanut ihmisten tiedonjonon sammumisessa...aluksi kirkko vastusti aurinkokeskeistä teoriaa...mutta kehitystä ei voitu välttää...Galilei ja Newton ja lopullisesti Charles Darwin räjäytti pankin. Ennen kaikki tieto perustui Raamattuun ja myytteihin. Kirkko pystyi ohjailemaan ihmistä miten halusi.”*⁶¹³

Yksinkertainen tulkinta tieteen kehityksestä on tyypillinen oppikirjojen suosima kertomustyylili: nerot keksivät kuin tyhjästä uusia teorioita ja tekivät mullistavia havaintoja. Usein henkilöpainotus johtaa siihen, että tieteen kehitystä kuvataan sarjana nimiä ja keksintöjä tai havaintoja, kuten esimerkiksi vastaaja F15:

”Tärkeimpiä keksintöjä olivat...Isaac Newtonin kehittämä gravitaatio. Albert Einstein kehitti suhteellisuusteorian ja kvanttimekaniikan. Galileo Galilei teki merkittäviä havaintoja kaukoputkellaan. Charles Darwin kirjoitti kirjan evoluutioteoriastaan. Tyko Brahe tutki tähtiä observatoriossa. Tätä kautta fysiikassa päästiin eteenpäin ja maailmankaikkeutta pystyttiin mittaamaan ja ymmärtämään paremmin...”

EurF-ryhmässä oli myös hyviä vastauksia, mutta niitä ei voida pitää *luonnontieteen historian* osalta ansiokkaina. Hyvää luonnontieteen historiallisen tulkinnan IE -tasoa kukaan ryhmän EurF oppilaista ei saavuttanut. Kaikissa vastauksissa, paitsi yhdessä niukassa vastauksessa, oli luonnontieteen historian peruskertomuksena valistuksen myyttinen suuri kertomus. Ryhmän vastaukset tieteen vallankumouksesta viittaavat selvästi tieteenhistorian oppikirjatekstien ongelmaan: tieteenhistorian prosessimaisuus, merkitystasot ja kontekstuaalisuus eivät tule niissä esiin. Erityisesti voidaan mainita myös, että vastauksissa tieteen vallankumous tulkittiin hyvin usein totuuden voitoksi katolisesta kirkosta ja Galilei kuvattiin totuuden marttyyriksi. Vastauksissa esiintyvät vahvana luonnontieteen historian myyttiset elementit.⁶¹⁴ Kuudessa vastauksessa on pohjana valistuksen romanttinen kertomus, jossa Galileo Galilei on keskeisessä roolissa. Tämä on ymmärrettävää, koska oppikirjassa Galilei nousee erityisen keskeiseen rooliin. Kolmantena myyttisen historian muotona vastauksissa oli positivistisia, muodoltaan yleensä comtelaisia painotuksia (Taulukko 2.).

EurF-ryhmän koevastaukset olivat luonnontieteen historiallisesti katsoen heikkoja. Vain kaksi opiskelijaa saavutti luonnontieteen historiallisesti kohtalaisen ie-tason. Tenttikirjana käytetty

⁶¹³ Sama piirre esiintyi myös vastaajilla F1, F2, F9 ja F11.

⁶¹⁴ Vaikeasti luokiteltavia olivat vastaajat F4 (luonnontieteen historian materiaalia runsaasti, mutta vastaus sisälsi niin paljon asiavirheitä, ettei opiskelijan käsityksistä saa kuvaa) sekä F8 ja F14 (kirjoittavat vähän, mutta asiantuntevasti eivätkä kirjoita myyttistä historiaa).

oppikirja ei tietenkään välttämättä ollut opiskelijoiden ainoa luonnontieteen historiaa koskevien tulkintojen lähde. Tenttikirjana siihen kuitenkin todennäköisesti paneuduttiin ja se oli siinä mielessä tärkeä luonnontieteen historian tulkintojen esitys oppilaille. Edellä kuvattu vastausmateriaali antaa siten osaltaan aihetta väittää, että luonnontieteen historian opettamisen kannalta oppikirjojen sekä yleisemminkin opetussisältöjen kehittäminen luonnontieteen historian IE-tason suuntaan on perusteltua. Ryhmässä EurF (tenttivät *Forum*-oppikirjan avulla kurssin *Eurooppalainen ihminen*) oli yhteensä 16 oppilasta. Kun opiskelijoiden vastauksia tarkastellaan, huomataan että luonnontieteen historian HPS- ja STS-kokeilujen edellyttämää IE-tasoa ei niissä saavuteta (taulukko 1). Luonnontieteen historian myyttiset tulkinnat estävät tämän tason saavuttamisen. Näitä myyttisiä rakenteita löytyy jokaiselta vastaajalta.

Taulukko 1: EurF ryhmä *Forum*-oppikirjan avulla kurssin *Eurooppalainen ihminen*.

opiskelija	I	E	N
F1	0	e	V
F2	0	0	V
F3	0	0	V
F4	0	0	V
F5	i	e	V
F6	0	0	V
F8	i	0	0
F9	0	e	V
F10	i	e	V
F11	0	0	V
F12	i	0	V
F13	i	0	V
F14	0	0	V
F15	0	0	V
F16	0	0	V

Taulukko 2: Luonnontieteen historian modernin tulkinnan myyttisten elementtien esiintymisen ryhmän EurF tenttivastauksissa

Galilein romanttinen kertomus	Voimakas neropainotus	Voimakas positivismi
F1, F2, F11, F14, F15 ja F16	F6 ⁶¹⁵ , F9, F13, F15 ja F16	F3, F5, F8, F13, F15 ja F16
N=6	N=4	N=6

6.2 YLEISET DIDAKTISET PERIAATTEET ARTEFAKTIN KEHITTÄMISEKSI

Lukion historian oppikirjojen analyysi sekä ryhmän EurF luonnontieteen historian koevastaukset antavat viitteitä puutteista lukion historian oppikirjojen luonnontieteen historian kokonaiskuvassa. Tässä luvussa esitetään kehittämisspilarien perusteella hahmotellut opetuksen sisällön kehittämisperiaatteet ja tehdään konkreettinen ehdotus opetuksen sisällön kehittämiseksi.

Luonnontieteen historian opetusmateriaalissa tulee ottaa huomioon seuraavat näkökohdat:

– Catherine Milne (1998) ja Michael Clough (2010) korostavat luonnontieteen historian kokeiluissaan *kertomusten suuntaamista*. Jokaisen historian oppikirjassa käytetyn kertomuksen tulisi liittyä johonkin *opetustavoitteeseen*. Tämä vaatimus koskee myös pienempiä kertomusyksiköitä, vignettejä. Oppikirjoissa vignetit ovat kuvien ja niihin liittyvien kuvatekstien yhdistelmiä.⁶¹⁶ Luonnontieteissä luonnontieteen historian opetuksen tavoitteeksi on asetettu NOS-teemojen parempi ymmärtäminen. Historian opetuksessa tavoitteet ovat internalismipilarin kontekstuaalisella tasolla (I-taso) sekä käsiteltävää aikakautta koskevassa luonnontieteen sosiaali-historiassa (E-taso).

– HPS-kokeiluissa valitaan sopivia *keskuskäsitteitä*, joiden kautta luonnontieteen historian kannalta keskeisiä käsitteitä voidaan opettaa. Tällaisilla keskuskäsitteillä tulee olla historiallista jatkuvuutta ja niiden tulee olla merkittäviä siten, että niiden kautta voidaan käsitellä luonnontieteellisen käsitejärjestelmän (maailmankuvan)

⁶¹⁵ F6 vastaa laajasti antiikin historiaan ja toteaa, että ”kreikkalaisten luomat ajatukset ovat säilyneet perustana nykytieteelle”. Tämän jälkeen käsitellään nimet ja keksinnöt ilman kontekstia tai yhteyksiä yhteiskuntaan.

⁶¹⁶ Esimerkiksi oppikirjassa Forum 2 käytetään luonnontieteen historian vignettejä seuraavasti: 1. Kuva, jossa katolisen kirkon edustajat eivät suostu katsomaan kaukoputkeen, 2. Inkvisitio polttaa Giordano Brunon, 3. Galileo Galilei on inkvisition tuomiolla. Lisänä kuvatekstit, jotka vahvistavat valistuksen eepin romanssin. Kuvien ja tekstien valinta vaikuttavat voimakkaasti luonnontieteen historian tarinan rakentumiseen.

opetuksellisesti keskeisiä piirteitä.⁶¹⁷ Tällä ehkäistään opetuksen pirstoutuminen irrallisiksi nimiksi, faktoiksi ja vuosiluvuiksi. Opetuksessa ei pyritä kronologiseen kattavuuteen. Keskuskäsitteiden käyttöä opetuksessa on esitelty HPS - kirjallisuudessa. Aikakausjulkaisussa *Science & Education* on esimerkkejä keskusideakokeiluista: muun muassa käsitteitä *voima*, *avaruus*, *paino* ja *laji* on käytetty keskuskäsitteinä, samoin käsitettä pendulum, heilurikello. Heilurikellon ongelma avaa luonnontieteen teorian kehitystä, ja tekniikan kehityksen kautta luonnontiede yhdistetään teollistuvaan eurooppalaiseen yhteiskuntaan.⁶¹⁸

– Ernst Machin opetuksellinen periaate oli, että on parempi opettaa joitain teorioita tai käsitteitä perusteellisesti ja problematisoiden kuin pyrkiä pintapuoliseen kattavuuteen. Tällöin opetukseen valitaan *presentistisesti* joitain keskeisiä historiallisesti perusteltuja teorioita. Niiden perusteita opetetaan kurssissa eri aikakausissa (esim. liike, voima, avaruus, laji käsitteitä ja niihin liittyviä teorioita) ja näin syntyneitä esitietoa voidaan käyttää hyväksi, kun varsinaista teoriaa tai käsitettä käsitellään varsinaisessa syntyäkaikaudessaan.

– Luonnontieteen historiallinen kehitys pyritään opettamaan *prosessina*. Se merkitsee, että valitaan keskuskäsitteet, joita opetetaan ja syvennetään kurssiopetuksen kuluessa. Tämä on luonnontieteen historian ”pitkittäistä” opettamista, jossa keskitytään historiallisesti perusteltujen käsitteiden tai teorioiden opettamiseen, koska niiden kautta voidaan tavoittaa opetuksellisesti merkittäviä asioita luonnontieteen historiasta.⁶¹⁹ Opetuksessa tavoiteltava pitkä kaari on vastakkainen perustutkimuksen näkökulmalle, jossa tutkitaan kapeampaa sektoria lyhyellä aikajänteellä.

– Luonnontiede kehittyy *dialogina*, jossa teoriat ja niiden parannusehdotukset seuraavat toisiaan. Kehitysprosessin kuvauksessa on esiteltävä myös ”väärä” teoriapolkuja ja väistyneitä teorioita. Kilpailevat teoriat on kuvattava niin kontekstuaalisesti, että niiden sisäiset rakenteet ja rationaalisuus tulevat esille. Luonnontieteen historian tutkimuksessa pitkän kehitysprosessin kuvaaminen merkitsee usein presentismin tulkintavirhettä ja whig-historiallista tulkintaa. Tämä on kuitenkin pedagogisesti perusteltua, koska kyseessä on noviisien opetus ja noviisien tiedon tarpeet edellyttävät, että käytetään lähtökohtana tietoa nykytieteestä. Toinen di-

⁶¹⁷ Kokemusta luonnontieteen historiallisten keskuskäsitteiden käytöstä sisällönmuokkaukseen sain, kun vuonna Jyväskylän yliopiston 1992 tekniikan historian symposiumiin kehitin kontekstuaalisuuteen perustuvan case-tapauksen. Keskusideana oli antiikin Kreikan sotalaiva, trieerin, jonka kautta pyrittiin avaamaan sekä tekniikan sisäisiä että sosiaalisia näkökulmia teknologian historiaan. Lasse Hongisto, Tekniikan opetus koulussa: trieerin ongelma, teoksessa K. Vilksen (toim.), Artikkeleita tekniikan ja teknologian historiasta, 1993. Myöhemmin samaa keskuskäsitteen lähtökohtaa sovellettiin laajemmin, kun työryhmä Arola, Hongisto ja West kirjoitti lukion historian Kronos-opikirjasarjaa (Kirjayhtymä), erityisesti sen osat 1 ja 2.

⁶¹⁸ Heiluri-projektia on sovellettu myös STS-opetuksessa. Matthews, Gauld ja Stinner kokosivat näkökulmia eri tutkijoilta heilurin historiallisesta merkityksestä ja opettajat sovelsivat projektin tuloksia opetukseensa. Pendulumia voitiin käyttää teknologian ja talouden opettamisessa, kapitalismin hengen synnyn, mekaniikan käsitteiden, tieteen metodin kehityksen, luonnontieteen historian ”Big Picture” kuvan opettamisessa, sekä käsitysten selkiyttämiseen, tieteellisen lukutaidon rikastuttamiseen opetussuunnitelman käsitteiden sisältösovelluksena ja kahden kulttuurin siltana. Matthews, *Science & Education* 2004, s. 261–277.

⁶¹⁹ Luonnontieteen historioitsija Gerald Holton kehittää pitkiä vertikaalisia käsittepareja, jotka lävistävät historian, kuten atomismi ja kontinuumi. Niillä on ajallisesti jatkuvuutta yli ”paradigmojen” (Holton 1988). Samalla tavoin voidaan ajatella käsitteiden liike, muutos, olemus ja laji vertikaalista jatkuvuutta..

mentio on poikkileikkaustaso, jossa syvennyttään jonkin aikakauden yhteiskuntaan ja ajan merkittävään ”keksintöön”.

– Jos merkittävä ”keksintö” valitaan historiallisesti hyvin perustellusti, se voidaan opetuksessa liittää historialliseen aikaan ja sen yhteiskunnallisiin piirteisiin. Sen kautta voidaan opettaa aikakauden yleistä historiaa. Valittaessa keskusideoita yleisen historian opettamiseen on niiden oltava historiallisesti perusteltuja ja opetuksellisesti hedelmällisiä. Niiden tulee antaa käsitys tieteen yhteisöllisyydestä ja valaista luonnontieteen tutkimusta pitkänä historiallisena prosessina.⁶²⁰ Näin päästään eroon kirjoissa mainituista lakonisista kuvauksista (Kopernikus keksi aurinkokeskeisen teorian) sekä myyttisistä kuvauksista (Newton istui puutarhassa ja näki omenan putoavan).

– Hyvin valittujen teorioiden (keskuskäsitteiden) kautta voidaan opettaa laajasti *keskeisiä piirteitä* luonnontieteen sosiaalishistoriasta. Eksternalistisesti kurssiin sisällytetään osioita, joilla pystytään valaisemaan sekä luonnontieteen historian mikrohistoriallista että makrohistoriallista luonnetta.

– Henkilöhistoriaa on käytettävä varoen. Henkilöhistorian olisi oltava enemmän *kulttuurihistoriaa* kuin nerohistoriaa. Henkilöhistorian tulisi kertoa tutkijasta osana aikansa tiedeyhteisöä ja rajata nerouden (luovuuden, keksimisen) alaa järkevästi niin, että tutkija on aina osa historiallista perinnettä ja aikansa tiedeyhteisöä. Huonosti käytetty henkilöhistoria saattaa johtaa myyttiseen historiaan. Jos oppikirjassa esiintyy voimakkaasti myyttinen tarina, opetuksessa on syytä pyrkiä korjaamaan sitä luonnontieteenhistoriallisesti validimpaa tulkintaa kohti.⁶²¹

– Kertomus, jota HPS-opetuksessa suositetaan, on voimakkaasti tiivistetty, dramatisoitu tieteellisen maailmankuvan muutoksen kertomus (asetelma 2, K-luokka). Tämän on havaittu toimivan opetuksessa hyvin, ja se on ollut erityisesti tieteen vallankumouksen ydinkertomus. Opetuskertomuksena tätä voi edelleenkin suositella. Kertomuksessa on muistettava korostaa tieteen vallankumouksen ajallisen siirtymän pituutta ja prosessin kollektiivista luonnetta.

– Muita myyttisiä käsityksiä, joita oppikirjoista välittyy, ovat valistuksen 1700-luvun alun suuri kertomus, comtelainen versio positivismista ja naiivi empirismi (asetelma 2, luokka V). Myös näitä myyttisiä kertomuksia tulisi luonnontieteen historian opetuksessa pyrkiä purkamaan ja problematisoimaan.

⁶²⁰ Robert Carson (2003) esittelee laajan luonnontieteen historiallisen kontekstuaalisen projektin, jossa pyrittiin rakentamaan siltaa luonnontieteiden ja humanististen oppiaineiden välille suunnittelemalla kolmivuotinen opetusohjelma. Sen keskiössä on luonnontieteen historia: ”we try to envision a curriculum, that overcomes the reductionism, the fragmentation, and the aesthetic and conceptual sterility of a typical school curriculum.” Carson 2003, s. 231. (kursiivit LH)

⁶²¹ Uusien, historiallisesti tarkempien kertomusten ja tulkintojen tarkoitus on viedä oppilaiden oppimista opetuksellisesti toivottaviin päämääriin. Niiden päämäärät ovat päälukuen 3. analyysistä johdettuja.

6.3 DIDAKTISTEN PERIAATTEIDEN ALUSTAVAA TESTAUSTA

Kun ryhmä Pauli Arola, Lasse Hongisto ja Pirjo West otti tehtäväksi kirjoittaa vuoden 1994 opetussuunnitelman perusteisiin sopivan oppikirjan *Eurooppalainen ihminen* (Kirjayhtymä), sen opetuksellinen lähtöidea oli HPS-tyyppinen kontekstuaalisuus. Ryhmä kirjoitti teoksen pitkälti edellisessä luvussa lueteltujen didaktisten periaatteiden mukaisesti. Painopiste oli koyrélaisella internalistisella kehityskertomuksella (asetelma 2 luokka K), ja kirjaan pyrittiin liittämään aina aikaan liittyvää tieteen sosiologiaa (asetelma 2 luokka E). Jo tuolloin kirjojen opetussisältöjä testattiin jatkuvasti käytännön opetuksessa. Ryhmän laatima kirja *Kronos 2* ei ole ollut enää vuosiin myynnissä. Normaalilyseon opiskelijoiden järjestämässä vanhojen oppikirjojen myynnissä lukuvuonna 2006–2007 kirjaa myytiin opiskelijoiden käyttöön, ja tällöin syntyi ajatus testata kirjan luonnontieteen osioita tätä design-tutkimusta varten. Kirjan hankkineet kuusi opiskelijaa saivat luvan käyttää sitä kurssin *Eurooppalainen ihminen* itsenäiseen suoritukseen. Tämä antoi mielenkiintoisen tilaisuuden testata, miten luonnontieteen historiaa opitaan HPS-tyyppisen luonnontieteen historiallisen opetusmateriaalin avulla verrattuna aiemmin testattuun Forum-oppikirjaa käyttäneeseen ryhmään (EurF).

Eräissä *Kronos*-ryhmän koevastauksissa nähtiin luonnontieteen historiallisen IE-tason piirteitä, joita EurF-ryhmässä ei esiinny. Esimerkiksi opiskelijan Kr6 vastaus on korkealuokkainen luonnontieteen historiallisesti, ennen kaikkea internalistisesti (kursivoidut kommentit LH):

”Tieteen vallankumous

Vielä 1500-luvulle asti oli vallinnut maailmassa pitkään aristoteelinen maailmankuva (*paradigma, sen käsitteelliset piirteet*), minkä mukaan maanylinen on Jumalallinen ja näin ollen muuttumaton, mutta maallinen maailma oli rationalistinen, mistä järjen avulla voi löytää totuuden (*koyrélainen teesi*). Tieteen vallankumouksen ensimmäisiä merkkejä (*anomaliat, Kuhnin käsitys maailmankuvaan ei-sopivista havainnoista*) olivat kuitenkin monen eri tiedemiehen (*tiedeyhteisö sosiaalisena rakenteena*) merkinnät aurinkokeskeisestä maailmasta, Kepler sai kuitenkin tästä kunnian. Vuonna 1570 huomattiin taivaalle syntyneen uusi tähti. Koska sen aikaisen maailmankuvan mukaan avaruuden olisi pitänyt olla pysyvä, oli tämä suuren kummastuksen aihe. 1600-luvulla ymmärrettiin avaruuden äärettömyys, mikä oli myöskin järkytys sen aikaiselle maailmalle (*uuden maailmankuvan käsitteelliset piirteet*). Viimeinen niitti oli vuosi 1604, kun Galileo Galilei onnistui kaukoputkea hyväksi käyttäen tutkimaan kuuta ja totesi sen olevankin täynnä kraatereita, eikä sileä hopeapallo, miksi sitä oli aiemmin kuviteltu (*anomaliat*). Tämän tosin kirkko pystyi vielä selittämään sillä, ettei apuvälinein tehtyjä havaintoja voinut pitää luotettavina (*tieteellinen argumentointi*). Nämä löydökset jäivät kuitenkin itämään, ja johtivat lopulta moniin suuriin oivaluksiin, kuten Isaac Newtonin päätelmään siitä, että myös maanpäällistä maailmaa voidaan tutkia matematiikan avulla, minkä hän todisti vuonna 1687 ilmestyneessä kirjassaan *Principia*, missä oli monia mullistavia havaintoja, kuten gravitaatiolaki ja muut Newtonin lait (*synteesi*). Kirja loi perustan koko seuraavan vuosisadan tieteelle (*Imre Lakatosin käsite tutkimusohjelma*). Maailma ei enää ollutkaan paikka, joka oli Jumalan luoma, jonka toimintaa ja tapahtuvia ei kuolevainen voinut tieteellä selittää, vaan suuri avointen kysymysten kenttä (*uudet tutkimusongelmat paradigman mukaan*), mistä saattoi löytää aina vain uusia tutkimuskohteita ja alueita, mitkä kyettiin myös matemaattisesti ja fysikaalisesti ymmärtää.”

Vastauksessa käsitetään luonnontieteen kehitys perinteeseen pohjautuvaksi rationaaliseksi prosessiksi. Vastauksesta löytyy hyvään internalistiseen tulkintaan (I-taso) viittaavat koyrélaisen luonnontieteen historian tulkinnan piirteet. Syy, miksi sitä ei nostettu hyväksi eksternalis-

tisen tason vastaukseksi (E-taso), on, ettei siinä viitata yhteiskunnan makrorakenteiden (sosiaalisten rakenteiden, teknologian ja talouden) merkitykseen luonnontieteen historiassa.⁶²² Oppikirjaan oli kirjoitettu suunnattu rationaalinen koirélainen kertomus (K), ja on mahdollista, että se näkyi monien vastausten taustalla.

Myös vastaajan Kr1 vastaus oli verraten hyvätasoinen (luokitus: i-e). Vastauksen internalistinen taso on hyvä. Esimerkiksi *Principiale* annettiin hyvä perusmääritelmä: ”Principiassa selostettiin luonnonfilosofian (LH: viittaus 1600-luvun luonnontieteen luonteeseen, sen yhteisöllisenä tulkintana), siis fysiikan perusteet. Siinä oli mm. painovoima, jonka avulla pystyttiin laskemaan...vaikka uuden planeetan sijainti.” Opiskelija antaa vastauksissaan luonnontieteelle sosiaalisia merkityksiä. Hän avaa muun muassa tiedeyhteisön evoluutioteorian kohdistamaa kritiikkiä: ”Lordi Kelvinin laskema maan ikä oli liian lyhyt evoluutioprosessin vaatimalle pitkälle aikajänteelle.” Opiskelija kirjoitti esseen aiheesta Kirkko ja kulttuurin kehitys. Vastauksen tyyli on kevyt. Viittaukset tieteen sosiaaliseen puoleen eivät vakuuttaneet, ja vastauksen tendenssimäinen myyttinen kertomus, kirkkoa tiedon kahleena korostava juonne, johti siihen, että vastausta ei sijoitettu luokituksessa luokkaan E.⁶²³

Kronos-kirjaan kirjoitettiin alun perin koirélainen luonnontieteen vallankumouksen internalistinen tulkinta sekä jonkin verran tieteesosologiaa. Tämän ryhmän tulokset olivat hivenen parempia kuin EurF-ryhmän. Oppikirjan suunnattujen henkilöhistoriallisten kertomusten positiivista vaikutusta vastausten sisältöihin on mahdollisesti havaittavissa esimerkiksi vastaajalla Kr6, joka valitsi tenttikysymykseksi Isaac Newtonin. Hän kirjoitti (kursiivit ja selitykset LH):

”1600-luvulla tiede rupesi saamaan jalansijaa ja sitä ruvettiin arvostamaan. Tieto oli valtion ja tiedemiehiä kunnioitettiin (*mertonilainen tulkinta*). Monet tiedemiehet elivät tuohon aikaan ja uusia keksintöjä syntyi räjähdysmäisesti. Isaac Newton oli erilainen kuin muut tiedemiehet. Hän viimeisteli keksintöjään, kunnes ne olivat täydellisiä ja toi julki vasta kun oli täysin varma niistä...johtui differentiaalilaskennan samanaikaisuudesta. Noihin aikoihin kiisteltiin paljon keksijän oikeuksista ja on epäselvää pidetäänkö Newtonia integraali- ja differentiaalilaskennan isänä (*prioriteettikiistat*) ...”.

⁶²² Vastaaja Kr2 sen sijaan sijoitettiin vastauksensa eksternaalisuuden osalta luokkaan E. Hän kuvasi *Tieteen vallankumous* -vastauksessaan tieteen kehityksen *prosessiksi*, jossa teoriat muuttuvat rationaalisen kritiikin kautta. Vastaus sisältää ptolemaiolaisen järjestelmän anomaliat ja dialogin maailmanjärjestelmien välillä. Lisäksi hän kuvaa realistisesti tieteen kytkeytymisen uskontoon. Koska vastauksessa oli luonnontieteen historian kannalta valideja kertomuksia, se sijoitettiin luokkaan k. Internalistisella ulottuvuudella opiskelijan kohdalla päädyttiin luokkaan i koska opiskelija ei ollut ymmärtänyt klassisen mekaniikan käsitteellistä rakennetta ja vastauksessa esiintyi virheellisyksiä (Baconin *ääretön* maailmankaikkeus, Kopernikuksen mullistavat *planeettahavainnot* ja *Principian synteesi* jäi täysin ilman huomiota).

⁶²³ Opiskelija kirjoitti: ”Kirkko on ollut osana, sekä kulttuurin, että tiedon kehitystä, että sen alasajoa. Kirkolla oli esimerkiksi valta kieltää kirjoja, jotka se katsoi vahingollisiksi. Toisaalta taas kirjapainon keksimisen jälkeen kirjat levisivät nopeammin kuin paavikaan ehti niitä pannaan julistaa, joten lopulta kieltohommeli kääntyi aivan päällelleen, kun kielletyistä kirjoista tuli kaikista luetuimpia. Kirkko, tai oikeammin luostarilaitos, on kuitenkin ollut tärkeä osa historian säilyttäjänä, sillä luostareissa munkit kopioivat käsin kirjoja ja siirsivät tietoa jälkipolville. Asia, josta kirkkoa voi moittia, on jäykkyys uusien ajatusten suhteen. Jos joku Kopernikus kekkasi, että maa kiertäkin aurinkoa, eikä toisin päin, kirkko kauhistui ja kielsi kaiken, sillä Raamattu oli toista mieltä. Sama juttu evoluution kanssa, eihän ihminen voi olla kehittynyt apinasta, sillä olemme Jumalan kuvia, eikä Jumala ole apina (ja mistäköhän ne senkin tiesi). Näin estettiin tieteen kehitys, sillä jos ei nyt suoraan kaulaa katkaistu nerolta, niin ainakin vaadittiin korjaamaan keksintö niin, että se on kirkon mielen mukaiseksi...”

Kokonaisuutena *Kronos*-ryhmän tulokset antoivat vihjeitä suunnasta, johon kurssin *Eurooppalainen ihminen* muokkausta voisi kehittää. *Kronos*-kirjan keskus käsitteet olivat *klassinen mekaniikka* ja *evoluutioteoria*. Tällainen HPS-tyyppinen keskus käsite tuntui oppikirjan ratkaisuna toimivalta. Erityishuomiota tulisi kuitenkin kiinnittää luonnontieteen historian sosiaalisten piirteiden opetuksen kehittämiseen. Myyttisiä kertomuksia luonnontieteen historiasta oli nähtävissä kolmen oppilaan vastauksissa. Esimerkiksi opiskelijan Kr4 (sijoitettu luokkiin i, 0, V) vastauksessa on voimakas positivistinen painotus: ”Newtonille kiitos, että asioihin perehdyttiin ja tutkittiin uskomatta aisteihin, vaan faktoihin. Kaikki antiikin aikainen tieto menetti pohjan, kun tilalle tuli kumoutumattomia faktoja. Paluuta entiseen ei ollut, vaan siitä alkoi tieteen nousukausi.” Luonnontieteen historian kehittyneempiä tulkintoja (luokat I, i, E, e) esittäneillä vastaajilla tuollaisia kertomuksia ei kuitenkaan esiintynyt (Taulukko 3). Tämä pieni kokeilu rohkaisi jatkamaan kurssin luonnontieteenhistoriallisen sisällön muokkausta.

Taulukko 3: *Kronos*-ryhmän (EurKr) tulokset.

opiskelija	I	E	N
Kr1	i	e	V
Kr2	i	E	k
Kr3	i	0	V
Kr4	i	e	V
Kr5	i	e	k
Kr6	I	e	K

6.4 LUONNONTIETEEN HISTORIAN LIITTÄMINEN KURSSIIN *EUROOPPALAINEN IHMINEN*

Kuten edellisissä luvuissa on nähty, luonnontieteen historian opetukseen on kehitetty sisältöratkaisuja, joilla luonnontieteen historian yksinkertaisimpia tulkintoja voidaan välttää. Kun opetukseen valitaan painopiste, jota voidaan syventää ja jolle voidaan antaa historiallinen kehys, voidaan päästä opetuksellisesti kontekstuaalisempaan kuvaukseen ja välttää kärkein presentismi.⁶²⁴ Mitkä ovat sopivat ”keksinnöt” kurssin *Eurooppalainen ihmisen* kontekstuaa-

⁶²⁴ Presentismin vahingollisuutta voidaan oikeilla opetustoimenpiteillä ehkäistä. Tätä mieltä ovat Hull (1978, 2000), Wilson ja Ashplant (1988), Jardine (2003), Brush (1974, 1995) sekä Abadia (2008). Opetuksessa tulee aina olla selvästi määritelty, yleisesti hyväksytty päämäärä, opetusmateriaalin ja käytetyn käsitteistön tulee tukea näitä tavoitteita. Tämän vuoksi keskustelu NOS-päämääristä ja luonnontieteen historian Big Picture -kuvasta on arvokasta. Brushin (1995) mukaan presentismi on tutkimuksessakin ymmärrettävää, sillä se ohjaa usein luonnontieteen historian tutkimuskysymyksiä. Esimerkiksi Mendelin genetiikan tutkimukset unohdettiin aikanaan, mutta ne ovat tulleet tieteen sosiologian kannalta kiinnostaviksi genetiikan myöhemmän historiallisen kehityksen jälkeen. Presentistiseen kysymykseen voidaan etsiä historiallisesti ”kontekstuaalista” vastausta. Jos nykytiede täysin kielletään luonnontieteen historiasta, syyllistytään Edward Harrisonin mukaan ”*prigismiin*”, kapeakatseisen ylimieliseen asenteeseen, jossa nykyhetken tietämättömyydestä, sekä tutkimuksen yhteiskunnallisesta käyttökelpottomuudesta tehdään hyve. Brush, 1995, s. 219. Tieteen sosiologi Stephen Shapin kirjoittaa tästä ilmiöstä, kun hän valittaa luonnontieteen historian ”balkanisoitumista” artikkelissa *Hyperprofessionalism and the Crises of Readership in History of Science*, Isis 2005, sekä artikkelissa *Science and The Public*, teoksessa toim. Olby, Cantor, Christie ja Hodge 1990, s. 997.

lisiksi keskuskäsitteiksi? Kaksi lupaavinta tapausta löydämme luonnontieteen historian tutkijoilta: Roy Porter (1985, 2006), I. B. Cohen (1985), James Brush (1988), John Heilbron (2003), Floris Cohen (2003) ja Peter Dear (2006) nostavat esiin klassisen mekaniikan ja evoluutioteorian. Tässä kehittämisprojektissa ne valittiin *Eurooppalaisen ihmisen* painopisteiksi. Astronomia, klassinen mekaniikka ja evoluutioteoria ovat myös luonnontieteen historian opetustutkijoiden laajalti käyttämiä HPS-tapauksia. Nämä keskuskäsitteet liitetään kurssiin Eurooppalainen ihminen seuraavilla kytkennöillä.

Tieteen perinne

Molemmat keskuskäsitteet, klassinen mekaniikka ja evoluutioteoria, liittyvät klassisiin kreikkalaisen luonnonfilosofian perusongelmiin. Luonnontieteen historian nykytulkinnan mukaan näiden keskuskäsitteiden juuret ovat syvällä historiassa. Astronomian matemaattisen kuvauksen alku on planeettojen ratojen ”pelastamisessa” eli niiden palauttamisessa ympyrämuotoon. Luonnonhistorian synty taas liittyi universaalien ongelmallisten käsitteiden *laji*, *universaali* ja *muoto* määrittely-yrityksiin. Molemmat ongelmaperinteet johtivat suuriin synteettisiin teorioihin, joissa ratkaistiin maailmankuullisesti merkittävä ongelma. Oppikirjojen puutteena on usein, että ne yrittävät esittää lyhyesti keksinnön (kuka keksi ja mitä, minä vuonna ja kuka oli ensimmäinen) eivätkä esittele tieteellistä ongelmaa, joka on avain tieteellisen ongelman ratkaisun merkitykseen. Kyse on tiedemiesten tutkimusmotivaation selittämisestä: miksi luonnonfilosofit ja luonnonhistorian tutkijat ovat pitäneet tutkimusongelmaansa arvokkaana? Astronomiassa planeettojen (vaeltajien) ongelma on planeettojen ratojen kuvaus ja luonnonhistoriassa selitys lajien synnylle, olemukselle, rakenteelle ja luonnollisen järjestelmälle, jotka taas ovat kiinteässä yhteydessä metafysiisiin käsityksiin ”luonnon hierarkiasta”, ”suuresta olevaisen ketjusta”. Myöhemmin kristityt luonnonhistorian harrastajat halusivat paljastaa luonnossa luoja käden jäljet.⁶²⁵

Luonnontieteen juuret ovat pitkät, ja on tulkintakysymys, kuinka laajalti niitä kurssilla tulisi esitellä. Astronomian opetuksessa on muistettava varhaisten kulttuurien planeettahavainnot ja arabien korjaukset Ptolemaioksen astronomiaan.⁶²⁶ Näin voidaan samalla purkaa myyttiä eurooppalaisesta eli länsimaisesta tieteestä. Yhtä pitkät juuret ovat ”lajien ongelmalla”. Kursin luonnontieteen historian muokkauksessa opettamisessa on painotettu Aristoteleen lajikäsitystä ja Linnén korjailtua versiota siitä. 1700-luvun lopulla tapahtui luonnonhistoriassa kvantitatiivinen lajirajähdytys, geologisen ”syväajan synty”, käytännöllisen lajijalostuksen synty ja evoluutioajatuksen vakiintuminen.

Valistuksen aikaa kutsutaan usein historiassa newtonistiseksi valistukseksi. Tällä tarkoitetaan, että tutkimusohjelmat, jotka Newton oli aloittanut päätöissään *Principiassa* 1687 ja *Opticisissa* 1704, saivat uusia sovellutuksia ja niiden muotoa kehitettiin yhä suurempaan täydellisyyteen. Usein valistuksen aikaa pidetään tylsänä ”normaalitieteen” aikakautena, jolloin ei suuria käsitteellisiä muutoksia tieteessä tapahtunut.⁶²⁷ Luonnontieteen historiassa valistus on tärkeä aikakausi, koska luonnontieteen asema muuttui eurooppalaisessa yhteiskunnassa ja tämän myötä luotiin perusta 1800-luvun uusien teorioiden vallankumouksille. Tore Frängsmyr ku-

⁶²⁵ Renessanssiajan luonnonfilosofiset järjestelmät sekä 1700-luvun lopun deismi voidaan asettaa luonnontieteen taustamotiiveiksi.

⁶²⁶ Steele 2008, McClellan ja Dorn 1999.

⁶²⁷ ”Normaalitiede” on Thomas Kuhnin käsite; se kuvaa kypsän tieteenalan tilaa, jossa vakiintuneen paradigman avulla ratkotaan paradigman määrittelemiä ongelmia..

vaa tätä vaihetta: Tieteellisten instrumenttien määrä ja instrumenttien tarkkuus kasvoivat eksponentiaalisesti, lajien määrällinen tuntemus suorastaan räjähti. Tuolloin alettiin pitää tilastoja kaikenlaisista luonnonilmiöistä.⁶²⁸ Myös Margaret Jacob korostaa 1700-luvun Englannin teollistumisen ja luonnontieteen yhteenkietoutumista. Tämä piirre ei paljastu vain tieteen teorioiden kehitystä tutkimalla vaan teollisuuden toimijoiden taustoja ja elämänpiiriä kartoittamalla.⁶²⁹

Keksimiskonteksti

Molempien, Newtonin ja Darwinin, synteisien ratkaisua edelsi vilkas muutoksen aika luonnontieteessä. Sekä *Principiaan* että *Lajien syntyyn* kehitettiin koko ajan osasia. Tiedeyhteisön sosiologiset ja materiaaliset muutokset (kirjapainot, aikakausjulkaisut, tiedeseurat, vilkas kirjeenvaihto tutkijoiden välillä, tutkijoiden sosiaalisen aseman muutos jne.) aiheuttivat tilanteen, jossa nämä ”keksinnöt” olivat kaikkien saatavilla.⁶³⁰ Lisäksi molempiin synteeseihin liittyy mielenkiintoista henkilöhistoriaa: oikeaan sosiaaliluokkaan syntyminen, varallisuuden tarjoama itsenäisyys, älykyys, ajattelun intensiteetti, historiallisesti kypsä tilanne ja aikaan liittyviä sattumia.

Henkilö ei sittenkään ole tässä tapauksessa keskeinen historiallisen muutoksen selittäjä, vaan keksimiskonteksti on perustaltaan *sosiaalinen*: monet keksinnöt tehdään samanaikaisesti. Ammattimainen kasvienkeräilijä Alfred Russel Wallace (1823–1913) kehitti lähes identtisen teorian evoluutiosta tietämättä Darwinin tutkimuksista. *Principian* (1687) kaikki osat olivat valmiina suureen synteisiin ennen *Principian* julkaisemista, lukuun ottamatta Newtonin *Principian* omaperäistä matematiikkaa.⁶³¹ Voittaneille teorioilla on keksimiskontekstissa useimmiten varteen otettavia kilpailijoita ja niille hyviä perusteluita. Näitä kilpailijoita ei kouluhistoriassa esiinny. Uuden teorian hyväksymisprosessi on usein pitkälinen. Jos tämä elementti poistetaan luonnontieteen historiasta, luonnontieteen kehityksestä tulee determinoitu polku, jossa oikea metodi ja objektiiviset havainnot takaavat automaattisesti oikean ratkaisun ja luonnontieteen edistymisen. Kurssin muokkaamisessa on yritettävä korjata tätä vääristymää ja valottaa luonnontieteen historian dialogiluonnetta. Kilpailevat teoriat ovat osa kokonaiskertomusta (esim. ptolemaiolainen vastaan kopernikaaninen astronominen teoria, Linné ja Lamarck vastaan Darwin). Tässä yhteydessä voidaan käsitellä väistyneitä teorioita: astrologiaa, karteesiolaista korpuskularismia, alkemiaa, frenologiaa, kraniologiaa ja lamarckilaisuutta. Tieteellisen tiedon välittymiseen sopii hyvin ajatus luonnontieteen tiedon verkkomaisuudesta. Vain osa verkostoitumista oli virallista ja kanavoitui lehtien ja tiedeseurojen kautta.⁶³² Kun vertaa verkon tiheyttä ja rakennetta, huomaa antiikin ja keskiajan eron uuteen tieteseen, valistukseen ja 1800-luvun tieteseen.

⁶²⁸ Tor Frängsmyr, *The Quantifying Spirit in the Eighteenth Century*, 1990.

⁶²⁹ Margaret Jacob 2004 ja McClellan ja Dorn 1999. Teollisuusmiehet Watt, Smeaton ja Wedgwood olivat Royal Societyn jäseniä. Keramiikkatehtailija Wedgwood (Darwinin appi) oli kiinnostunut kemiasta ja kävi kirjeenvaihtoa kemistien Priestleyn ja Lavoisierin kanssa. Pohja tekniikan ja luonnontieteen symbioosille oli luotu, mutta vasta 1800-luvulla yhteys alkoi olla kiinteää. McClellan ja Dorn 1999, s. 298–312. Myös Margaret Jacob 2010, s. 27–38.

⁶³⁰ Stephen Harris, *Networks of Travel, Correspondence, and Exchange*, *The Cambridge History of Science*, teoksessa toim. Katherine Park ja Lorraine Daston 2006, s. 341.

⁶³¹ Richard Westfall, 1981, s. 423–424

⁶³² David Lux ja Harold Cook, *Closed Circles or Open networks? Communicating at a Distance During the Scientific Revolution* 1998. Myös Bruno Latour, *Emme ole koskaan olleet moderneja* 2006, s. 186–194, ja James Secord, *Knowledge in Transit*, Isis, 2004.

Hyväksymiskonteksti

Hyväksymiskonteksti kuuluu luonnontieteen historian internalistiseen ulottuvuuteen. Principia antoi mallin kokeellis-matemaattiselle tieteelle ja sille, kuinka keskeinen luonnonilmiö ja voima (gravitaatio) pystyttiin kuvaamaan matemaattiseksi, universaaliseksi luonnonlaiksi. Tämä oli merkittävä kulttuurisaavutus. Principian klassisen mekaniikan muodosta tuli ihanne, johon kaikilla tieteenaloilla pyrittiin mutta ei useinkaan pystytty. Oppikirjojen esityksissä annetaan ymmärtää, että kun kokeellis-matemaattinen metodi oli keksitty, sitä voitiin vaivattomasti soveltaa kaikkiin tieteenaloihin.

Darwinin *Lajien synty* on hyvä esimerkki toisenlaisesta luonnontieteen mallista. Se ei muodoltaan ole abstraktin matemaattinen vaan kuvaileva. *Lajien synty* yrittää laajalla todistusmateriaalilla vakuuttaa lukijansa pystymättä kuitenkaan todistamaan teoriaa oikeaksi.⁶³³ Newton ei pystynyt selittämään, mikä mekanismi gravitaatiossa vaikutti. Myöskään Darwin ei pystynyt selittämään keskeisiä evoluution mekanismeja. Molemmat teoriat olivat alttiita ymmärrettävälle aikalaiskritiikille. Tieteeseen liittyy myös epätäydellisyys ja alttius perustellulle kritiikille.⁶³⁴ Dikotomia valhe/totuus ei sovi kuvaamaan luonnontieteen kehitysprosessia. Molemmat teoriat verifioituivat pitkän aikavälin kuluessa ja kilpailevat teoriat kuihtuivat hitaasti. Verifioituminen on esimerkki tieteeseen liittyvästä pitkän aikavälin rationaalisuudesta, joka ilmenee yksilöiden valintoina ja vahvistuu sosiaalisesti: selittävämpi teoria hyväksytään koko yhteisössä. Jos tarkastellaan lokaalisti yhtä tutkijaa ja yhtä kiistaa lyhyellä aikavälillä, voidaan tieteen kehityksestä saada irrationalinen kuva.⁶³⁵

Kontekstuaalisessa opetuksessa pyritään hahmottamaan tarkasteltavana olevan ajan *rationaalisuusperustaa*, joka eroaa nykyihmisen ja nykytieteen rationaalisuudesta. Tieteellisiksi vastaväitteiksi luonnontieteen historiassa on hyväksytty teesejä, joita nykyisin pidetään puhtaasti teologiaan tai metafysiikkaan kuuluvina. Ei ollut itsestään selvää, että Kopernikus oli oikeassa, sillä maan liikkumattomuuden puolesta voitiin antaa monia todisteita ja episyklikuvaukset planeettojen ratojen muodosta olivat ympyrään sitoutunutta aurinkokeskeistä kuvausta tarkempia. Myös Darwinin evoluutioteoriaa voitiin aikanaan perustellusti kritisoida ja tulkita monin eri tavoin. Useimmiten vanhat ja kilpailevat teoriat ovat voineet aivan perustellusti puolustautua uusia yrittäjiä vastaan. Virheelliseksi osoittautuneet teoriat ja käsitteet nähdäänkin luonnontieteen opetustutkimuksessa merkittäviksi mahdollisuudeksi kehittää opiskelijan käsitteistöä ja luonnontieteen luonteen ymmärtämistä.⁶³⁶ Menneitä teorioita, joihin olisi syytä tutustua historiallisessa mielessä, ovat esimerkiksi astrologia, alkemia, frenologia, karteesiolaisuus, aristotelismi, mesmerismi, nestetasapaino-oppi, linneläinen luokittelu, kraniologia, eugeniikka, lysenkolaisuus ja ptolemaiolainen astronomia.

⁶³³ Ero klassisen ja baconiaanisen luonnontieteellisen mallin välillä, McClellan ja Dorn 1999, s. xi.

⁶³⁴ Douglas Allchin, *Scientific Myth-Conception*, Science Education 2003.

⁶³⁵ Paikallisesta irrationalisuudesta esimerkki on Steven Shapinin ja Simon Schafferin (1985) analyysi Boylen tyhjiöpumppukokeista.

⁶³⁶ Douglas Allchinin mukaan luonnontieteen historian opetukseen tulee aina liittää ”väärä teorioita” niiden luonnontieteen historiallisessa kontekstissa. Niiden kautta saadaan käsitys tieteen historian prosessiluonteesta ja häivytetään myyttisen tieteen historian pahimpia virhetulkintoja. Allchin 2003b.

Sovelluskonteksti

Molemmilla suurilla, Newtonin ja Darwinin, synteeseillä on ollut suuri vaikutus myöhempään historiaan. Luonnontieteen historiassa nimetään kokonainen aikakausi Newtonin mukaan ja puhutaan newtonismista, joka levisi mannermaalle ja josta tuli valistuksen filosofian ydin. Darwinin teoria taas vaikutti Euroopan aatteelliseen ja poliittiseen kehitykseen syvällisesti sosiaalidarvinismin, marxismin, fasismin, rotuoppien, imperialismin ja eugeniikan yhteydessä. Newtonismia ja darwinismia pidettiin aikanaan tulevaisuuden yhteiskuntasuunnittelun yleisavaimina.⁶³⁷ Opiskelijoiden on tärkeää pohtia, kuinka käsitteet ja teoriat on usein irrotettu tieteellisistä konteksteistaan ja siirretään monimutkaisiin yhteiskuntapoliittisiin ja maailmankuvallisiin yhteyksiin. Valistus ja sen yhteiskuntafilosofia perustuivat suurelta osin luonnontieteen kiistämättömiin saavutuksiin ja evoluutioteoria, usein väärin tulkittuna, oli perustana sosiaalidarvinismille, rotuoille, mittausvimmalle (frenologia, kraniologia ja IQ) ja eugeniikalle.

Narratiivit ja suunnatut kertomukset

Luonnontieteen opetustutkijoiden mukaan kertomusten olisi tärkeää tukea luonnontieteen historian internalistisen ja eksternalistisen validin tulkinnan opettamisen tavoitteita. Tässä tutkimuksessa kokeilukurssiin kerättiin *Principian* ja *Lajien synnyn* käsittelyn yhteydessä käytettävä kertomusvalikko. Koska kurssi *Eurooppalainen ihminen* on rakennettu kronologiseksi kulttuurin yleiskurssiksi, luonnontieteen historian oma rakenne pirstoutuu helposti kurssin kokonaisuudessa. Kurssin aikana opetuksessa liikutaan monissa aikakausissa ja monilla historian osa-alueilla, mutta kokeiluun valittujen opetuksen keskusideoiden, klassisen mekaniikan ja evoluution, avulla pyrittiin pitämään luonnontieteen historian yleisrakenne koossa. Kertomusvalikoiden tarkoituksena oli auttaa pitämään opetuksen fokus valituissa keskuskäsitteissä (Asetelmat 4 ja 5).

⁶³⁷ Giuliano Pancaldini, *Progress*, teoksessa ed. J. Heilbron 2003, s. 680.

Asetelma 4: Newtonin synteesin historialliset kontekstit

Isaac Newton,
narraation osuus:
– nuori Newton Cambridgessa
– annus mirabilis
– *Principian* synty

vanha paradigma
– suljettu sfääripallo
– laadullinen kuvaus
– syllogistinen logiikka

– suora havainto
– ”maalaisjärki”
– ptolemaiolaisuus

Principia 1687
– ääretön avaruus
– kvantitatiivinen kuvaus
– funktiosuhde
– hallitut kokeet
– idealisaatio
– aurinkokeskeinen malli
– tutkimustradition synty

seuraukset
– newtonistinen
matemaattis-eks-
perimentaalinen
tutkimus
– valistukselle perintö

Edellytykset:
– kopernikaaninen malli
– Brahen havainnot
– Keplerin nerous, ellipsi
– Descartesin mekanismi,
korpuskularismi, matem. kuvaus
– Galilein putoamislaki, havainnot
– Hooken ”laki”

Asetelma 5: Darwinin evoluutioteorian historialliset kontekstit

Darwin tarinat:

- Beaglen matka
- Lajien synnyn tarina

Vanha paradigma

Aristoteles, Linne

- essentialismi
 - plenitude-prinsiippi
 - William Paleyn kirja⁶³⁸
- deismi

- luojan suunnitelman paljastaminen
- suuri olevaisen ketju
- luonnonmukainen järjestelmä (Bowler)

Lajien synty 1859

- haarautuva puu
- sattumanvaraisuus
- elämän tuhlaus
- jatkuva sopeutuminen
- ”survival of fittest”

Seuraukset

- evoluutio tutkimusohjelmassa
- progressionismi, lamarckilaiset muunnokset
- Mendelin lait
- uusdarwinismi
- sosiaalidarwinismi, rotuopit
- mittausvimma (IQ), eugeniikka

Edellytykset:

- evoluutio: nebula-teoria, geologian synty
- Lyell – uniformismi
- vertaileva morfologia
- Thomas Malthus, väestötutkimus
- käytäntö: amatööргеолоgit, eläinten jalostus
- Adam Smith
- Wallace ja keksintöjen samanlaisuus ja sen tulkinnat

⁶³⁸ William Paleyn kirjan *Natural Theology* (1802) kautta voidaan käsitellä deismeä. Kirjasta otetaan pohdintaan tarina ”kellon löytymisestä” (Paley 1802, 7–10).

Antiikin tieteen opetuksessa Aristoteleen ja Platonin yhteydessä avataan lajin, olemuksen (essentia) sekä liikkeen ja voiman käsitteet. Antiikin opetuksena tällainen menettely oli ”presentististä”, koska kinematiikan käsite liike kuuluu Aristoteleella käsitteen muutos (generatio ja corruptio) alaisuuteen eikä ole hänen ajattelussaan keskeinen. Presentismi aiheuttaa luonnontieteen historiaan determinismin tunteen: länsimaisen tieteen ikään kuin tulikin syntyä juuri antiikin Kreikan teoreettisen spekulatiivisuuden perustalle. Tätä ilmiötä ei voi opetuksessa täysin välttää.⁶³⁹ Sopivissa yhteyksissä tätä luonnontieteen historian metafysisistä ongelmia on syytä pohtia opiskelijoiden kanssa eksplisiittisesti.

Keskusidea antaa mahdollisuuden käyttää monia kertomusvariantteja. Tarkoituksena on, että keskusideat toimivat tarinoiden tähtäyspisteinä. Kurssilla ei varsinaisesti opeteta Newtonin henkilöhistoriaa vaan suunnattiin oppimista *Principiaan*. *Principiaan* taas voitiin päätyä eri kertomusten kautta.⁶⁴⁰ Principia sinällään on mielenkiintoisten kertomusten lähde, koska se oli muodoltaan ja leviämislähteenä erikoinen tapaus. Lisäksi *Principia* on keskeinen lähtökohta newtonismille ja valistuksen kulttuurille.⁶⁴¹ Samalla tavalla keskusideana toimii myös Lajien synty. Principiaa ja Lajien syntyä voidaan pitää länsimaisen tieteen klassikoina, ja niiden tieteellisen elämäntarinan tuntemisen voidaan katsoa kuuluvan historialliseen yleissivistykseen.⁶⁴² Sekä aristoteelinen että newtonistinen käsitejärjestelmä on opetettava ”sisältäpäin” käsitejärjestelmien omaa logiikkaa ja rationaalisuutta noudattaen ja niitä toisiinsa verraten. Sama koskee luonnonhistorian (biologian edeltäjän) kehityksen opettamista. Siinä on erityisesti kiinnitettävä huomio 1700-luvun tiedon kvantitatiiviseen ”räjähdykseen”. Tämän materiaalin uudelleenorganisointi johti Linnén uudistuksiin, geologian syntyyn ja lopulta evoluutioteoriaan.⁶⁴³

⁶³⁹ David Hull 1979 ja 2000; Nick Jardine 2006, Nick Tosh 2007.

⁶⁴⁰ Newtonin yliopisto-opiskelun kautta voidaan opettaa, millaista opetusta Cambridgessä oli tarjolla, millä tavoin Newton oli erilainen nuori, ja miten hän sai luettavakseen Magiruksen Aristoteleen luonnonfilosofisen tenttikirjan. Newton sai antiikin perinteestä luonnonfilosofian ongelmia, mutta etsi ratkaisuja itsenäisesti tarjolla olevasta uuden tieteen kirjallisuudesta. Principiaa voi lähestyä myös Newtonin ”ihmeellisistä vuosista” käsin (1664–1666 olivat Lontoon ruttovuodet, jolloin yliopisto oli suljettu ja Newtonilla oli aikaa kehittää mielenkiinnon kohteitaan). Lähtökohta voi olla myös kertomus, jossa Halley ja Wren tekivät vierailun Newtonin luokse Cambridgeen 1684: kun he esittivät eksaktin kysymyksen tietystä syystä (vastaus oli jo hahmollaan), Newton valehteli tietävänsä eksaktin vastauksen, mutta kehitti kolmen vuoden aikana siihen tieteenhistoriallisesti merkittävän ”vastauksen”. Eräs lähestymismahdollisuus on myös analysoida myyttinen kertomus omenasta (omenan ”kolmas tuleminen” maailmanhistoriassa: Aatami ja Eeva ja kaunis Helena), sekä sen miksi Newton kertoi tarinan, ja mitä merkitystä tällaisilla kertomuksilla on. Kaikkien näiden kertomusten keskiössä on Principia (näistä kertomuksista esim. Richard Westfall, *Never at Rest*, 1982).

⁶⁴¹ Jessica Riskin antaa newtonismille neljä päämerkitystä: matemaattinen eli synteettinen tapa lähestyä luonnonfilosofiaa, induktiivinen eli eksperimentaalinen luonnonfilosofia, kiinnostus voimiin ja niiden ”kantaja-etteriin” ja neljänneksi perimmäisistä syistä lähtevä mielenkiinto. Riskin, *Newtonianism*, teoksessa ed. J. Heilbron 2003, s. 576.

⁶⁴² Yhdysvalloissa evoluution historialliselle opettamiselle on oma perustelunsa: tiedeopetustutkijoiden mielestä evoluution historiallisen taustan käsittely on tärkeää, koska evoluutioteorian asema koulussa on ollut jatkuvasti uhattuna. On tärkeää huomata, mikä ero on *kehittyvällä tutkimusohjelmalla*, jossa on ydinteoria, ja tieteellisellä hypoteesilla. Pitkän perspektiivin tarkastelu antaa mahdollisuuden huomata näitä eroja. Oppilaat ymmärtävät nämä käsitteet usein rinnasteisesti niin, että teoria ymmärretään ”vain hypoteesiksi”. Lisa-Michelle Martin-Hansen, *First-Year College Students’ Conflict with Religion and Science*, Science & Education, 2006. Martin-Hansenin mukaan tieteenhistoriallinen perspektiivi evoluutioteoriaan on oleellinen, koska ainoastaan tieteen luonteen ymmärtäminen mahdollistaa rationaalisen keskustelun evoluutioteorian ja uskonnon suhteesta. Klassisesta mekaniikasta harva opiskelija sanoo, että $F=ma$ on vain hypoteesi.

⁶⁴³ Geologian varhaisvaiheista katso Rudwick, *The Great Devonian Controversy* 1983. Rudwickin teosta pidetään parhaimpana luonnontieteen historian perusteoksena, jossa on presentismi vältetty. 1800-luvun keskeinen geologinen kiista on siinä esitetty dialogiverkkona lähes mikroskooppisella tarkkuudella. Kirjassa on luovuttu kronologisesta käsittelystä ja käytetty verkkoista aikakäsitystä. Tällainen rekursiivinen aikakäsitys, joka virtaa moneen eri suun-

Henkilöhistoria

Luonnontieteen historian ammattitutkijoiden aiemmin kritisoima henkilöhistoria on tekemässä paluuta luonnontieteen historiaan. Kyse ei ole perinteisistä elämänerkkoista, vaan *kulttuurihistoriallisesta* näkökulmasta. Lukion opiskelijoille, jotka ovat noviiseja luonnontieteen historiassa, kertomus tai historiallinen henkilökuva on luonteva opiskelun lähtökohta. Tässä tutkimuksessa kokeilukurssilla pyrittiin luomaan Newtonista ja Darwinista kulttuurihistorialliset kokovartalokuvat. Heistä kerrottiin oleelliset henkilötiedot, luonnehdittiin tutkijatyyppit (miten tekivät käytännössä tutkimusta), heidät pyrittiin kuvaamaan mikrohistoriallisesti sosiaaliryhmänsä edustajana ja liittämään historialliseen kontekstiin. Heihin liitettyt kertomukset (inkvisitio, omena, yksinäisyys jne.) käsiteltiin kriittisesti.

Kurssin muokkaamisessa pyrittiin siis käyttämään *suunnattuja kertomuksia*, jotka voisivat koirélaisittain tutkijan elämäntyöhön (HPS-opetus) ja pois myyttisestä kertomusperinteestä. Henkilökuvien kautta pyrittiin myös liittämään tutkija omaan aikaansa:

- Galilei voidaan nähdä esimerkkinä renessanssi-ihmisestä, joka pyrki luomaan oman tutkijaidentiteettinsä ja saamaan siitä myös rahallisen korvauksen. Tiede oli Galileille totuuden etsintää mutta myös kauppatavara.
- Newton voidaan tulkita esimerkkinä barokki-ihmisestä, joka oli täsmällisen järjestelmän tavoittelija ja pyrki itsevarmasti avaamaan luonnonkirjasta Jumalan suuren suunnitelman.
- Darwin voidaan esittää liberalistisen viktoriaanisen Englannin rikkaan yläluokan edustajana, joka sosiaaliryhmänsä tapaan oli uskonnollisesti deisti ja uskoi tieteen voimaan ja siunaukseen.

6.5 ENSIMMÄISEN OPETUSKOEILUN TULOKSET: RYHMÄ EURA

Luonnontieteen historian osalta muokatun *Eurooppalainen ihminen* -kurssin toteutus on kuvattu erillisessä liitteessä tutkimuksen lopussa (Liite). Ensimmäisenä opetettiin kokeilukurssi EurA, johon osallistui 27 opiskelijaa. Sen lopussa pidettiin kurssikoe, jonka esseemateriaalista voitiin tehdä seuraavat luonnontieteen historiaa koskevat havainnot.

Opetuskokeilussa pyrittiin siihen, että mahdollisimman moni oppilas osaisi tulkita luonnontieteen kehitystä korkeatasoisesti ja ajanmukaisella tavalla. Tätä tasoa kutsutaan analyysissä IE-tasoksi. Opiskelijoiden esseevastaukset kurssikokeessa varustettiin tunnuksilla (A1, A2...) ja analysoitiin siltä kannalta, miten niissä tulkittiin luonnontieteen historiallisia ilmiöitä. Luonnontieteen historian korkea IE-taso oli kurssimuokkauksen tavoite. Ryhmässä EurA korkeimpaan IE-luokkaan sijoitettiin esseevastaukset 12 opiskelijalta (A2, A3, A8, A10, A12, A18, A19, A20, A21, A24, A25, A27).⁶⁴⁴ Esimerkkinä on alla vastaus A18; koetehtävä oli kysymys *Voidaanko Newtonia ja Darwinia pitää neroina?* Analyysin kannalta keskeiset seikat on vastauksessa on merkitty kursiivilla sulkeisiin.

taan, sopii huonosti historian vasta-alkajien opiskeluun. David Hullin (2002) mielestä ratkaisu on onnistunut, mutta kirjan ymmärtäminen lukematta ensin jotain presentististä perusteosta on Hullin mielestä lähes mahdotonta. Hull 2002, s. 71. Geologiaa on käytetty HPS-opetuskokeilujen tieteenhistorian sisältöinä; esim. Thomsen, Prena ja Luis (2000) sekä Clary ja Wandese (2010).

⁶⁴⁴ Tunnus A18 viittaa EurA-ryhmän opiskelijan vastaukseen, joka on satunnaisesti järjestetty kahdeksanneksitoista. Samalla tavalla luetteloiitiin EurB-, EurF- ja EurKr-ryhmien vastaukset (esim. B1, F2).

”Voidaanko Newtonia ja Darwinia pitää neroina?”

Neromyytti elää lujana luonnontieteiden historiassa. Ajatus luovasta ajattelijasta, joka yhtäkkiä näkee tietämättömyyden verhon läpi, paljastaen täysin uuden totuuden. Neroon liittyy usein myös väärinymmärrettyys ja yksinäisyys, koska tavallinen pulliainen ei voi ymmärtää neron suurta neroutta. Nero ei kuitenkaan häiriinny tästä, sillä kaikki hänen mielenkiintonsa suuntautuu keskeisiin päämääriinsä (*vastaaja ymmärtää luonnontieteen historiallisen neromyytin sisällön*). Isaac Newton tuntuu suorastaan tämän myytin henkilöitymältä. Hän eli käytännöllisesti katsoen orpona lapsesta saakka, eikä hänellä ollut paljonkaan ystäviä edes sanan löysässä merkityksessä. Hän mullisti luonnontieteet ikiajoiksi teoksillaan *Principia* 1687 ja *Optics* 1704. Newton oli monialainen ajattelija, ja tunnetuin saavutuksensa oli painovoimalaki. Lisäksi hän kehitti monia muita teorioita esim. maan littanuudesta ja planeettojen radoista. Painovoimalaki hämmästytti maailmaa selittämällä niin avaruuden kuin maan pinnankin ilmiöitä. Sen syntyyn liittyvät tarinat omenan putoamisesta Newtonin jalalle tukee neromyyttiä. Newton ei kuitenkaan keksinyt uusia, kokonaisia totuuksia tuosta vain. Hänen oivalluksensa perustuivat monen aiemman suuren ajattelijan, kuten Galilein, Keplerin työlle (*viittaukset koyrélaiseen tulkintaan teorioiden kehityksestä, tiedeyhteisön merkitys ymmärretään*). Newton totesikin: ”Jos olen nähnyt kauas, johtuu se siitä, että olen seissyt jättiläisten harteilla”. Hänen teoriansa eivät myöskään olleet virheettömiä, ja mm. Albert Einstein korjaili niitä myöhemmin suhteellisuusteoriallaan.

Newton ei siinäkään mielessä sovi neron myyttiin, että luonnontieteellisen työnsä ohella hän harrasti paljon ”höpsötystä”. Hän mm. perehtyi alkemiaan ja häntä pidetään viimeisenä maagina. Hän tutki myös huolellisesti Raamattua (hän oli harras uskova) ja laski, koska tuomiopäivä tulee (*useita eksternalistisia tulkintoja: Newtonin kiinnittyminen aikaan uskonnon ja esoteeristen harrastusten kautta*).

Charles Darwin (1809–1882), evoluutioteorian kehittäjä, erosi Newtonista (ja neron prototyyppistä) siinä, mielessä, ettei hän pulppuillut uusia ideoita, vaan sai vain yhden suuren oivalluksen ja kehitteli ja hioi sitä koko loppu-uransa. Tämä oivallus oli kuitenkin erittäin suuri ja merkittävä ja se oli (ja jossain määrin??) erittäin kiistelty ja tunteita herättävä. Darwin sai siksi kestää paljon kritiikkiä ja pilkkaa (*väärinymmärretty nero*).

Darwinkaan ei ollut erehtymätön. Alun perin hänkin uskoi Jumalan luoneen kaikki lajit valmiina ja täysilukuisina, ja vasta oltuaan tutkijana Beagle-laivan mukana hän tuli toisiin aatoksiin. Darwin ei hänkään keksinyt ideaansa tyhjästä, vaan se perustui mm. Malthusin aiempiin teorioihin (*internalistinen tulkinta, oppilas tietoinen aiempien teorioiden vaikutuksen*). Hän ei myöskään ollut ainut, joka oli saanut tämän oivalluksen (siksi joutuikin julkaisemaan teoksensa jo 1859, kun se oli vielä hänen mielestään hiomaton) (*eksternalistinen tulkinta, opiskelija ymmärtää multippelien merkityksen tieteenhistoriassa*). Darwinilla oli kuitenkin, toisin kuin kilpailijoillaan tilaisuus kehittää rauhassa teoriaansa, koska hänen Emma-puolisonsa oli varakasta Wedgewoodin posliinisukua, eikä Charlesin sen vuoksi tarvinnut käydä ansiotyössä (*eksternalistinen tulkinta, tiede yhteiskunnassa, Darwinin etuoikeutettu sosiaalinen asema*). Tilaisuus siis teki neron. Charles ei sikälikään sovi neromyyttiin, että hän oli varsin sosiaalinen, hänellä oli monta lasta ja onnellinen perhe-elämä.

Loppujen lopuksi voidaan todeta, ettei Newton, sen paremmin kuin Darwinkaan sovi täydellisesti neromyyttiin. He olivat inhimillisiä, erehtyväisiä ja epätarkkoja ja he saivat paljon apua ja onnenpotkuja matkallaan huipulle. Kummankaan työn suurta merkitystä ei voi kiistää. Mikäli nerolla tarkoitetaan ihmistä, joka tehnyt kovan työn ja saavuttanut tuloksia, jotka ovat hyvä pohja seuraaville tutkijoille, silloin sekä Newton että Darwin ansaitsevat neron nimen.”

Vastaus on esimerkki siitä, kuinka historiallisessa vastauksessa voidaan käyttää luonnontieteen historian internalistista tietoa asiantuntevasti eksternalistisesti painotetussa vastauksessa. Koska vastauksessa käsitellään asiantuntevasti keskeistä tieteen sosiaalishistorian teemaa, ”myyttistä” historiankirjoitusta, vastaus päädyttiin sijoittamaan eksternalistisen tieteenhistorian tulkinnan korkeimpaan luokkaan E. Kirjoittaja ei käsittele teorioiden rakenteita yksityiskohtaisesti vaan kirjoittaa yleistä luonnontieteen historiaa. Luonnontiede sijoitetaan yleiseen historialliseen kontekstiin. Vastaajan lähtökohta luonnontieteen historiaan on luonnontieteen yhteiskunnallinen merkitys. Tällaista näkökulmaa luonnontieteen historiaan voidaan kutsua humanistiseksi.⁶⁴⁵

Kokeilukurssin opetuksessa pyrittiin siis *Principiaan* (1687) ja *Lajien syntyyn* (1859) suunnatuilla kertomuksilla parantamaan opiskelijoiden luonnontieteen historiallisten tulkintojen tasoa. Vastauksen A18 seuraavat piirteet ovat yhteensopivia suunnattujen kertomusten sisältämien painotusten kanssa:

- kuvauksessa on kriittinen suhde luonnontieteen myyttiseen historiaan,
- vastauksen rakenteen pohjana on koiräläinen internalistinen kertomus,
- yksittäinen tutkija (Newton) kiinnitetään vastauksessa aikansa tiedeyhteisöön ja yhteiskuntaan,
- käsitys aiempien teorioiden vaikutuksesta tieteen kehitykseen on historiallisesti ajanmukainen,
- samanaikaisten ”keksintöjen” eli multippelien merkitys luonnontieteen historiasa noteerataan vastauksessa.

Kaikki nämä piirteet ovat ajanmukaiselle luonnontieteen historialle ominaisia tulkintoja. Nuo piirteet huomioon ottaen vastaus A18 sijoitettiin analyysissä korkeatasoisten kertomusten luokkaan K. Vastaavanlainen ”humanistisen” tieteenhistorian vastaus, aiheena *Tiedon ja uskon ristiriita*, on vastaus A10. Siinäkin ovat nähtävillä luonnontieteen historian tulkinnan IE-tason piirteet. Muita ”humanistisia” vastaajia IE -luokassa oli kuusi.

⁶⁴⁵ Tässä vastaajan (A18) tieteenhistorian internalistisen ulottuvuuden tuntemus arvioitiin myös muiden esseevastausten kautta sekä kurssin jälkeen kirjoitettujen tieteen tieteen luonnetta koskevien kyselyjen, NOS-kyselyn, vastauksista. Tieteen luonnetta koskeva kuusikohtainen kysely tehtiin ennen kurssin opetusta ja sen jälkeen. Kyselyssä vastaaja kirjoitti: ”Newtonin teosta *Philosophiae naturalis principia mathematica* pidetään tieteen historian merkittävämpinä teoksena. Se sisälsi painovoimalain, joka oli ensimmäinen luonnonlaki, teorian maapallon litteydestä sekä huomattavan määrän muita oivalluksia. Principian katsotaan olevan käännekohta, jossa *luonnonfilosofia muuttui luonnontieteeksi*”. (kursiivit LH) Vastaaja mainitsee keskeisen muutoksen luonnontieteessä, koiräläisittain: suunnilleen filosofia, eksaktiksi mittaavaksi tieteksi.

Korkeatasoisista (IE-taso) tieteen historian esseevastauksista löydettiin myös toisenlainen lähestymistapa luonnontieteen historiaan. Tästä näkökulmasta on esimerkkinä vastaus A3, jossa opiskelija on valinnut internalistisen painotuksen. Seuraavassa on tämän pitkän esseevastauksen alkuosa (luokitteluanalyysit kursivoilla):

”Tieteen vallankumous.

Tieteen vallankumous oli prosessi, jonka myötä tieteestä tuli auktoriteetti ilmiöiden selitykselle uskonnon sijaan. Vaikka jo Aristoteles oli luonut pohjan tieteelle filosofiallaan pyrkiessään luonnonilmiöiden rationaaliseen selitykseen, erosivat hänen ajatuksensa ja menettelynsä paljolti siitä, mitä nykyään pidämme tieteenä (*tieteen keskeisiä piirteitä, tieteen historian presentismin ongelma*). Lisäksi Aristoteleen ajatuksien jälkeen uskonto pysyi kristillisessä Euroopassa keskiajalla suurimpana auktoriteettina.

Raamatun maailmankuvan valtaa tieteen selityksen lähtökohtana alettiin horjuttaa ajatuksella heliosentrisestä maailmankuvasta. 1500-luvulla Kopernikus innostui Ptolemaioksen *Almagestista (lähtökohtaparadigma)*, johon arabialaiset olivat merkinneet omia selityksiään (*tieteen synnyn monikulttuuriset taustat*). Ptolemaios oli antiikin loppuvaiheilla kuvannut planeettojen radat apuympyröiden avulla siten, että kaikki liike saatiin sovitetuksi ympyräliikkeeksi maan ympärille (*yksityiskohtia kilpailevasta teoriasta*). Kopernikus kehitti aurinkokeskeisen mallin, jossa planeettojen radat olivat ympyrän muotoisia. Hän uskoi itse heliosentriseen maailmaan, mutta esitti alkusanoissa sen olevan ainoastaan matemaattinen malli rauhoittaakseen kirkollisia piirejä (*eksternalistisen ulottuvuuden makrososiaalisia piirteitä*). Kopernikuksen malli ei kerännyt laajaa suosiota, sillä ptolemaiolainen malli kuvasi planeettojen liikkeitä tarkemmin saatujen laskelmien mukaisesti kuin Kopernikuksen (*tiede prosessina, eri teorioiden kilpailutilanne*).

Aristoteelisen maailmankuvan mukaan kuunylinen maailman, jossa kiintotähdet kiersivät kristallipallomaista pintaa pitkin, oli muuttumaton (*vanhan paradigman rakenteita*). 1500-luvulla taivaalle kuitenkin syttyi uusi tähti, supernovan räjähtäessä. Aristoteelinen järjestelmä ei ollutkaan aukoton (*anomaliat*).

Tanskalainen Tyko Brahe teki observatoriossaan tarkkoja laskelmia taivaankappaleista ilman kaukoputkea. Hän ei itse saanut järkeä saamistaan tuloksista, mutta laskelmat jouduivat Keplerin käsiin, joka esitti niiden pohjalta planeettojen todella kiertävän aurinkoa. Ensin hän kehitti järjestelmän, jossa radat olivat ympyrän muotoisia ja ratojen väliset etäisyydet suhteessa platonilaisten monitahokkaiden mukaan (*metafyysinen lähtöteoria*). Järjestelmä ei kuitenkaan toiminut, ja hän päätyi käsitykseen siitä, että aurinko sijaitsee niiden toisessa polttopisteessä (*teorioiden rakenteita, historiallisen muutoksen kontekstti*).

Galileo Galilei tutki putoavaa liikettä ja oli myöskin vakuuttunut heliosentrisyydestä. Hän sen sijaan ei suostunut julkisesti kiistämään väitteen todenmukaisuutta, jolloin hän sai kutsun Roomaan kuulusteluihin. Hän kuitenkin antoi periksi ja sanoi aurinkokeskeisyyden olevan vai teoria, muttei totta, mutta tiede sai marttyyrinsa. Kirkon maailmankuvan uskotavuus mureni vähitellen (*tiede ja politiikka, demytologisoiva tasapainoinen tulkinta*).

Galilei tutki myös kuuta. Tarkkaillessaan sitä kaukoputkella hän huomasi, ettei se ollutkaan tasaisen sileä, kuten Aristoteleen maailmankuvan mukaan, vaan rosainen (*teorioiden yksityiskohtien tuntemus*). Aristoteleen oppien kannattajien mukaan kaukoputkella tehtyi-

hin havaintoihin ei kuitenkaan voinut luottaa, vaan ainoastaan itse omilla silmillä tehdyt havainnot olivat luotettavia.”

Vastauksen alkupuolella valaistaan runsaasti luonnontieteen historian yhteiskunnallista puolta ja tiede sidotaan kertovissa osioissa maailmankuvalliseksi ja yhteisölliseksi toiminnaksi. Opiskelija mainitsee useita luonnontieteen teorioiden yksityiskohtia ja vertailee erilaisia maailmankuvia toisiinsa. Vastauksen painopiste on historian tulkinnan luonnontieteellisessä puolella. Vastauksessa on vähemmän mutta kuitenkin riittävästi luonnontieteen yhteiskunnallisia tulkintoja. Vastausta voidaan pitää luonnontieteen historian luonnontieteellisen suunnan edustajana, koska sen painopiste on selkeästi luonnontieteen teorian muutoksen kuvauksessa.

Luonnontieteen historian korkeatasoisen tulkinnan (IE) esittäneistä vastaajista viisi suuntautui tällä tavoin luonnontieteellisesti. He painottivat vastauksissaan luonnontieteen historian internalistista puolta. Kaikissa IE luokan vastauksissa luokituksen teko oli suhteellisen ongelmaton, koska nämä opiskelijat vastasivat yleensä hyvin laajasti luonnontieteen historian kysymyksiin ja näin kontekstuaalista materiaalia oli tarpeeksi käytössä luokitteluun. Epävarmoissa tapauksissa luokittelun tueksi saatiin aineistoa luonnontieteen historiaa oppilaiden lyhyistä esseevastauksista ja koetilanteessa kirjoittamista NOS-testin vastauksista.⁶⁴⁶

Yhteisenä kertomuspiirteinä kaikissa IE-tason vastauksissa oli, että niissä käytettiin koryläistä historiallista kertomusta vastauksen taustajuonena. Sen piirteinä ovat arvokkaaksi koettu luonnontieteellinen ongelma, metafysiikan merkitys, luonnontieteen tradition jatkuvuus, rationaalisuus, perusteltu kehitys ja suurmiesten perusteltu merkitys luonnontieteen historiassa. Tämän luokituksen edellytykset täyttyvät, kun vastattiin hyvin tieteen vallankumoukseen tai tieteen teorioiden kehitykseen tai vastauksissa käytettiin luonnontieteen historian Principiaan ja Lajien syntyyn suunnattuja kertomuksia. Tällöin narratiiviluokituksessa vastaus sijoitettiin luokkaan K. Jos edellä mainittuja elementtejä on vastauksessa näkyvillä vain jonkin verran, luokaksi tuli k.

Luonnontieteen historian eksternalistisen tulkinnan keskeinen lähtökohta on, että luonnontieteen historiasta ei voida löytää yhtä etuoikeutettua kertomusta; niinpä myös kokeilukurssilla eksternalistisen tulkinnan opetuksessa ei ollut sellaista temaatista yhtenäisyyttä kuin on internalistisen tulkinnan opetuksessa. Luonnontieteen sosiaalishistoriallinen tulkinta muodostuu monista eri tekijöistä. Kokeilukurssin oppilaiden koevastauksia analysoitaessa vastauksen sijoittaminen hyvän eksternalistisen tulkinnan luokkaan eli E-luokkaan edellytti, että vastauksessa oli kaksi näkökulmaa: 1) tiede on aina yhteisöllistä toimintaa, sillä on historian aikana ollut erilaisia toimintatapoja, ja on ollut vallalla erilaisia tieteellisiä maailmankuvia, sekä 2) tiede on ollut aina osa yhteiskunnan vallankäyttöä. E-luokan esimerkkipastauksista löytyvät molemmat näkökulmat.

Esimerkkinä vastauksesta, jossa oli vähemmän mutta kuitenkin jonkin verran luonnontieteen historian internalistisen ja eksternalistisen tulkinnan piirteitä (luokka ie), on vastaus A7:

⁶⁴⁶ Tarkistuksia tarvittiin kahdessa tapauksessa: A2 kirjoitti voimakkaan tendenssimäisen, eepisen romanttisen vastauksen, mutta toisaalta käsitteli tieteenhistoriaa suurella tulkinnallisella varmuudella. A12 taas vastasi tiedon ja uskon ristiriitaa eksternalistisesti painottuneesti, ja internalistisen puolen luokitteluun etsittiin tukea NOSA-jälkeen kyselyn vastauksista, joiden runsaat tieteenhistorialliset sovellukset vahvistivat oletuksen vastaajan hyvästä tieteen historian internalistisen puolen hallinnasta.

”Tieteen vallankumous

...ja halu tietää auttoivat heitä onnistumaan tutkimuksissaan. Suurimmat nimet ovat puolalainen Nikolaus Kopernikus, italialainen Galileo Galilei, sekä englantilainen Isaac Newton. Kopernikus tutki hyvinkin paljon tähtitiedettä ja taivasta. Hän mm. väitti, että maa on pyöreä ja että maa kiertää aurinkoa. Galilei muistetaan sen sijaan gravitaatioteorioistaan ja kokeistaan, sekä siitä, että hän kirjoitti tutkimuksensa kansan kielellä eli tässä tapauksessa italiaksi. Tähän mennessä lähes kaikki tutkimukset oli kirjoitettu latinaksi, koska hän halusi että tavalliset pulliaisetkin pystyisivät lukemaan tiedekirjoja ja kehittämään maailmankuvansa paremmaksi ja todenmukaisemmaksi (*tiedeyhteisön merkitystä ei ole käsitelty*).

Newton puolestaan ponnahti tietoisuuteen mm. Principia teoksellaan sekä liikelaeillaan, jotka hän keksi, kun omena putosi hänen päähänsä (*myyttinen historiatulkinta*) Kaiken kaikkiaan oli hienoinen ihme, että Newtonista tuli yleisnero. Aluksi hänestä piti tulla lääkäri, mutta koska ei sietänyt verta, hän meni Lontooseen opiskelemaan papiksi. Yliopistossa oli kuitenkin luontoseura, johon hän liittyi ja loppu on historiaa (*nerotulkinta, tarinakontekstit menneet sekaisin*)

Mitkä syyt sitten johtivat tieteen vallankumouksen? Syitä on varmaankin monia. Päälimmäiseksi nousee esiin tekniikan kehittyminen, ihmistuntemuksen lisääntyminen sekä tiedonhalu (*tiedonhalu historiallisena selityksenä*). Voidaankin ehkä sanoa, että tieteen vallankumous aloitti uuden aikakauden, aivan kuten teki teollinen vallankumous 1800-luvulla. Tieteen vallankumouksen jälkeen myöskin tavalliset pulliaiset saivat tietoa enemmän maailmasta.”

Vastauksessa A7 on paljon luonnontieteen historiallisia faktoja. Ne ovat samoja kuin opetuksen suunnatuissa kertomuksissa ja oppikirjan myyttisissä kertomuksissa. Monet faktat ovat kuitenkin historiallisesti virheellisissä asiayhteyksissä tai väärin tulkittuja. Monissa kohdissa vastauksesta käy ilmi, ettei kirjoittaja erota tiedeyhteisöä omaksi sosiaaliluokakseen, vaan puhuu ”tavallisten pulliaisten” maailmankuvasta, joka pystyi nyt kehittymään ”paremmaksi ja todenmukaiseksi”. Vastauksen taustalla on selkeästi positivistinen kertomus: tiede keksitään kerralla, tiedemiehet paljastavat totuuden, ja siitä tulee kaikkien yhteistä omaisuutta. Tästä syystä vastaus sijoitettiin kertomusluokituksessa luokkaan V, joka vastaa valistuksen suuren kertomuksen sisältämää luonnontieteen historiallista tulkintaa.

Kokeilukurssin opetuskertomusten suuntaamisen tarkoituksena oli pyrkimys vähentää luonnontieteen historian myyttisiä piirteitä ja päästä pois romanttisesta eepisestä kertomuksesta (Galilein romanttinen tarina), vahvasti positivistisesta kertomuksesta (dikotomiat oikea – väärä, tieto – uskonto ja tiede – katolinen kirkko) ja nerotulkinnan liian suuresta painotuksesta (myyttinen luonnontieteen historian nerohahmo). Näiden myyttisten piirteiden esiintyminen korostuneessa muodossa sijoitti vastauksen tässä analyysissä V-luokkaan. Opetuksen suunnatuilla kertomuksilla (Galilein, Newtonin ja Darwinin tieteelliseen merkitykseen liittyvät tarinat) pyrittiin vähentämään myyttisten kertomusten esiintymistä opiskelijoiden vastauksissa. EurA-kurssin näitä suunnattujen kertomusten rakenteita (luokat K ja k) käytti vastauksissaan 22 opiskelijaa EurA-ryhmän 27 vastaajasta. Myyttisiäkin kertomuksia kuitenkin esiintyi, ja tyypillinen myyttinen kertomus saattoi löytyä myös opiskelijalta, jonka vastaus oli luokassa IE, kuten vastaus A2. Siinä opiskelija kirjoittaa hyvää internalistista luonnontieteen historiaa:

”Principiassa esitettiin Newtonin ensimmäinen laki, Gravitaatiolaki. Gravitaatio on selkeästi perusteltu ja sen pohjalta pystyttiin selittämään monia luonnonilmiöitä omenan putoamisesta aina planeettojen kiertoon asti. Gravitaation avulla mm. pystyttiin laskemaan ja arvioimaan planeettojen kiertoratoja. Principiassa tuotiin esille myös uudenlainen, tieteellinen selittämis- ja tutkimustapa, jossa asiat perusteltiin selkeästi ja lisäksi pystyttiin saatamaan yksinkertaiseen matemaattiseen muotoon.”

Vastauksessa on toisaalta voimakas valistuksen kertomuksen pohjavire:

”Koska kirkolla oli niin suuri valta, tarkoitti sen oppien kritisoiminen samalla myös sen vallan lähtökohtien ja auktoriteettiaseman kritisoimista, mikä kirkon aseman kannalta oli äärettömän vaarallista. Näin ollen kirkko pyrki pysymään kannassaan ...(tieteellistä totuutta) kirkko ei voinut täysin hävittää, vaan Galilein näkemykset jäivät elämään ja vaikuttivat nykyisen maailmankuvamme syntyyn.”

Vastaus on luonnontieteen historian osalta luokassa IE, ja sen pohjakertomuksena on koryrélainen kertomus, joten se sijoitettiin myös luokkaan K. Toisaalta vastauksessa näkyy voimakas romanttinen eepinen kertomus: kirjoittaja korostaa Galilein tarinan kautta totuuden voittoa pahuudesta ja valheesta. Kokeilukurssin tavoitteena oli ollut syventää opiskelijoiden tieteen historian internalistista ja eksternalistista tulkintaa ja häivyttää valistuksen yksipuolista ydinkertomusta (V). Opiskelijalta löytyivät siis molemmat kertomustyypit vastauksen taustalta. Opetustavoitteiden suhteen tulos vastauksessa A2 on siis kahtalainen. Tämä tulos oli yleinen EurA-ryhmässä.

Eurooppalaisen ihmisen ensimmäisellä kokeilukierroksella (EurA) käsiteltiin opetuksessa Galileita lyhyesti. Kurssikokeen koekysymys *Tieteen ja uskon ristiriita Euroopan historiassa* sai suuren suosion. Se oli koekysymyksistä selkeästi maailmankuvallinen, ja sillä haluttiin houkutella vastaamaan niitä opiskelijoita, jotka eivät koe luonnontieteitä läheisiksi, vastaamaan luonnontieteelliseen teemaan. Kysymykseen vastasi 11 opiskelijaa EurA-ryhmän 27 opiskelijasta. Koevastauksissa näkyy Galilein romanttisen tarinan voima, sillä kaikki vastaukset sisälsivät valistuksen romanttisen kertomuksen. Voidaan ajatella, että luonnontieteen kehitystä kuvaavassa historiakulttuurissa elää vahvana kertomus Galilein tapauksesta uskon ja tiedon kamppailuna. Tätä vahvaa tarinaa on käytetty myös esimerkiksi oppikirjassa *Forum 2*, joka oli myös kyseisen kurssin oppikirja. Koska tunnilla ei erityisemmin käsitelty Galileita tai pohdittu kirjoissa yleisesti käytettyä kertomusta Galileista inkvisitiossa, opiskelijat saattoivat käyttää opetuksen suunnattuja kertomuksia ja oppikirjan myyttistä kertomusta rinnakkain. Opiskelijat luottivat, aivan oikeutetusti, oppikirjan tietoihin. Romanttinen Galilein tarina löytyi seitsemältä vastaajalta, joista neljän vastaukset olivat internalismin ja eksternalismin osalta korkeimmassa IE-luokassa (A2, A11, A12, A25).

EurA-ryhmän vastauksista löytyy myös toinen myyttisen historian muoto, jota opetuskokeilussa haluttiin välttää, nimittäin katteeton neropainotus. Siinä vastaaja saattaa tietää paljonkin luonnontieteen teorioiden kehityksestä mutta laiminlyödä luonnontieteen sosiaaliset piirteet. Merkkejä tästä näkyi vastauksessa A12. Koska vastaus käsitteli myyttisistä piirteistä huolimatta korkeatasoisesti luonnontieteen historiaa ja vastaaja ymmärsi tieteen yhteisölliseksi ilmiöksi, vastaus ei pudonnut IE-luokasta. Vastauksia, joissa luonnontieteen historian eksternalistisen tulkinnan luokkaa taas laski vastauksen sisältämän liiallisen myyttisen neropainotuksen vuoksi, olivat A6, A7, A9 ja A14. Esimerkiksi vastaus A14 kuvaa luonnontieteen teorioi-

den kehityksen peruspiirteitä ”nerojen” kautta (etenkin Principia esillä), mutta laiminlyö tie-
teensosiologian. Selkein esimerkki myyttisestä nerohistoriasta löydetään vastauksesta A6:

”Ilman Darwinia saattaisimme uskoa vieläkin, että Jumala on luonut eläimet...Mielestäni näin suuren teorian keksiminen vaatii neroutta...jos Darwin ei olisi sitä keksinyt, ties mitä sen tilalle olisi keksitty. Newton se vasta nero olikin, pitkän elämänsä aikana hän havaitsi painovoiman ja mm. planeettojen kiertoradat. Hän oli alkemisti, joka yritti kehittää viisas-
ten kiveä. Vuosikausia hän vietti salaisessa laboratoriossaan tehden salaisia ja kiellettyjä kokeita. Newtonia pidettiin jo elinaikanaan nerona. Hän ei mennyt naimisiin ja häntä syytettiin homoseksuaalisuudesta. Newtonilla ei ollut paljon ystäviä, vain harvoja, joihin oli tutustunut jo lapsena. Painovoima ja kiertoradat todistivat hänen neroutensa. Paino-
voiman avulla on havaittu muitakin fysikaalisia totuuksia ja maailmankaikkeutta on pys-
tytty hahmottamaan sen jälkeen, kun Newton havaitsi planeettojen liikeradat.”

Vaikka A6 osoittaa laajassa vastauksessaan tuntevansa luonnontieteen historian internalistisia
piirteitä (tietoja luonnontieteen teorioista, yksityiskohtia niiden rakenteista, kuvauksia niiden
muutoksesta), keskeiset eksternalistiset piirteet jäivät pois. Vastaus sijoitettiin siten luokkiin i
(internalismi) ja 0 (ei eksternalismia), ja koska siinä oli voimakas neropainotus, se sijoitettiin
myös luokkaan V (voimakas valistuksen myyttinen kertomus).

Kokonaisuudessaan ryhmän EurA 27 vastauksesta korkeaan luonnontieteen historiallisen tul-
kinnan luokkaan (IE) sijoittui 13 vastausta. Opetuksesta ammennettuja suunnattuja kertomuk-
sia (narratiivisarekkeessa symbolit K, k) käytettiin vastauksissa paljon, mutta toisaalta myös
myyttisiä kertomuksia (V) löytyi runsaasti. Kahdellatoista esiintyi Galilein romanttinen ker-
tomus (Taulukko 4). Kokeilun eräs päämäärä oli vähentää myyttisten kertomusten määrää
vastauksissa, joten myyttisen historian tulkinnan muotoihin olisi eksplisiittisesti kiinnitettävä
huomiota opetuksessa.⁶⁴⁷

Taulukko 4: Erilaisten myyttisten luonnontieteenhistoriallisten kertomusten esiintyminen
EurA-ryhmän vastauksissa

Galilein romanttinen kerto- mus	Voimakas neropainotus	Voimakas positivismi
A2, A3, A4, A6, A7, A9, A11, A12, A15, A21 ⁶⁴⁸ , A22, A25	A3, A4, A6, A7, A14	A11 ⁶⁴⁹
N=12	N=5	N=1

⁶⁴⁷ Abd-El-Khalickin (2005) tutkimus eksplisiittisestä NOS-opetuksen merkityksestä tukee tätä johtopäätöstä.

⁶⁴⁸ A21 muisti paljon tietoja Galileista ja vastasi esseekysymykseen runsailla oikeilla kontekstuaalisilla faktoilla. Pohjavireenä oli kuitenkin vahva romanttinen kertomus. Kerrottu tarina oli selkeästi apuna muistamisessa. Samoin A22:ssa Galilein kertomuksen faktojen esittäminen oli koevastauksen ansio, mutta ei auttanut varsinaisen tieteenhis-
torian tulkinnassa. Vastauksen luokitus oli 0, 0, V.

⁶⁴⁹ A11 vastaa erityisen hyvin luonnontieteen teorioiden kehitykseen ja hallitsee myös hyvin tieteen sosiaalisuuden. Esseessä pohjavireenä on voimakas metafysiikan vastaisuus, vastaajaa pahoittelee erityisesti Newtonin ”turhaa harrastusta, alkemiaa”. Myös kirkko ja erityisesti katolinen kirkko mainitaan esseessä tieteen vihollisena jokaisessa luvussa.

Taulukko 5: Yhteenveto ensimmäisen kokeilukierroksen (EurA-ryhmä) vastauksista.

opiskelija	I	E	N
A1	I	E	K
A2	I	E	V, k
A3	i	0	V
A4	0	e	V
A5	i	0	0
A6	i	0	V
A7	0	0	V, k
A8	I	E	K
A9	0	0	V
A10	I	E	K
A11	I	E	V, K
A12	I	E	V, K
A13	i	e	k
A14	i	0	k
A15	i	e	V, k
A16	0	0	k
A17	0	e	k
A18	I	E	K
A19	I	E	K
A20	I	E	k
A21	0	e	k, V
A22	0	0	V, k
A23	I	E	k
A24	I	E	K
A25	I	E	V, k
A26	i	0	k
A27	I	E	k

6.6 KOKEILUKURSSIN TOINEN TOTEUTUSKERTA (EURB)

Kurssin EurA vastausten perusteella tehtiin kurssiin sisältömuokaus. Koska kokeilukurssin ensimmäisellä kerralla koevastauksissa oli paljon V-luokkaan sijoitettavia, erityisesti Galilein myyttisen kertomuksen sisältäviä vastauksia, päätettiin tehdä muutoksia opetukseen. Luonnontieteen ja uskonnon suhteen tulkinta on niin voimakas ”konflikti” oppikirjoissa ja luonnontieteen historiakulttuurissa, että se päätettiin ottaa lähempään käsittelyyn.⁶⁵⁰ Toiselle opetuskerralle laadittiin siten uusi kontekstuaalinen painopiste, *Dialogin* tarina, joka on luonteeltaan valistuksen suuren tieteenhistoriallisen kertomuksen mukaisen perusmyytin, Galilein tarinan purku. Siinä pyrittiin rakentamaan luonnontieteen historiaan sidottu kuva Galileista henkilönä sekä antamaan tarkka kohdennettu kertomus Galilein inkvisitio-oikeudenkäynnistä. Tarina kerrottiin *Dialogin* kautta, jota koskeva oikeudenkäynti pyrittiin liittämään oikeisiin luonnontieteen historian internalistisiin ja eksternalistisiin puitteisiinsa eli filosofisiin, teologisiin ja valtapoliittisiin yhteyksiinsä. Kertomukset muokattiin Raimo Lehdeltä (1999) sekä Dava Sobelilta (1998) ja jaettiin monisteina opiskelijoille.

Kurssilla Galilein kertomus avattiin jo keskiajan eurooppalaisen kulttuurin opetuksen yhteydessä ja käytiin keskustelu maailmanjärjestelmien välillä (tähän käytettiin yksi oppitunti). Mitään kiistaa maailmanjärjestelmistä ei olisi syntynyt, jos vanhaa järjestelmää ei olisi voitu puolustaa joillain rationaalisilla väitteillä. Vaikka vaakakuppi maailmanjärjestelmäkiistassa oli Johannes Keplerin tutkimustyön jälkeen (1619) painunut kopernikaanisen järjestelmän puolelle, on aiheellista tarkastella myös Galilein syyttäjän, kardinaalikollegion luonnontieteellisiä perusteita vastustaa tai ainakin suhtautua epäillen Kopernikaaniseen järjestelmään. Jotta näiden kiistojen rationaalisuus tulisi esiin, on tunnettava myös taistelun hävinneet, aristoteelinen ja ptolemaiolainen, järjestelmät.⁶⁵¹ Usein oppikirjoissa viitataan vanhaan ”järjettömään” tapaan selittää ilmiöitä. Vanhat teoriat aristoteelinen liikeoppi ja maakeskeisyys ovat kuitenkin maalaisjärjen ja havaintojen mukaisia (Lindberg 2003; Allchin 2000; Matthews 1994). Juuri tämän vuoksi niiden muuttaminen oli vallankumouksellista. Sekä Ptolemaioksen *Almagest* että aristoteelinen järjestelmä olivat monimutkaisia ja rationaalisia järjestelmiä. Lisäksi *Almagest* muuttui arabien käsissä kehittyväksi matemaattiseksi tutkimusohjelmaksi, jota kohtaan Kopernikus tunsu suurta kunnioitusta ja joka oli pohja hänen tutkimuksilleen. Galilein aikaan voitiin esittää väitteitä maan liikkumista vastaan, sillä klassisen mekaniikan

⁶⁵⁰ Teemasta on erityistutkimus, jossa käsitellään luonnontieteen historian laajasti konflikti-teoriaa ja sen antamaa myyttistä kuvaa kirkon ja tieteen suhteesta. Kirjassa *When Science and Christianity Meet* (2003) on kaksitoista teemaa, jossa tieteen ja uskonnon suhteen yleisiä myyttisiä uskomuksia puretaan. Galilein oikeudenkäynti on kirjassa keskeisellä sijalla, sen sisältö on sama kuin opetuskokeilussa käytetyn *Dialogin* tarinan. Teoksessa toim. Lindberg ja Numbers 2003, *When Science and Christianity Meet*, University of Chicago Press. Erityisesti artikkeli David Lindberg, Galileo, the Church and Cosmos, s. 33–60.

⁶⁵¹ Kiistaan vaikuttivat seuraava tekijät:

- Galilei joutui koko ajan murtamaan vanhojen arvostettujen auktoriteettien käsityksiä liikkeestä ja maailmankaikkeudesta.
- Galilei teki tutkimusta eri tavalla kuin perinteinen akateeminen tiede oletti,
- Galilein tulkinnot ilmiöistä olivat usein maalaisjärjen vastaisia,
- Galilein idealisaatiot olivat usein vastoin arkihavaintoja (uuden tieteen pyrkimys voimakkaisiin idealisaatioihin, joita eivät empiiriset havainnot tukenet; heiluriliike esimerkkinä). Luonnontieteen opetustutkijat korostavat, että kun tutkijat tekevät kokeita ja havaintoja, heillä on jo valmiina käsitys, millaisia havaintoja heidän tulee tehdä (havainnot teoriapitoisia). Ilmiöt sinällään eivät paljasta omaa luonnettaan,
- Galilei tutki liikettä aikana, jolloin uusi selitysjärjestelmä oli kehittyvässä, niinpä hän ei pystynyt vastaamaan moniin vastustajiensa vastaväitteisiin ja
- Galilei joutui tieteellisenä realistina välttämättä ottamaan kantaa moniin maailmankuvaa koskeviin kysymyksiin.

kokonaisuus ei ollut valmis.⁶⁵² Nämä lähtökohdat kerrattiin kurssin keskiaikaa käsittelevällä tunnilla ja liitettiin skolastiikan opetukseen.

Miksi Galilei tuomittiin juuri 1633? Syitä oli paljon, ja ne pystyttiin liittämään *Eurooppalaisen ihmisen* -kurssin laajempaan kehykseen:

- Uskonsodat raivosivat Euroopassa. Katolinen kirkko tahtoi terävöittää aatteellista taistelua ”kerettiläisyyttä” vastaan.

- Jo vuonna 1616 kopernikanismin kielto oli annettu Galilein tietoon kardinaali Bellarminon vierailun yhteydessä. Ystävällisessä hengessä oli sovittu, että Galilei välttelisi julkisesti esittämästä kopernikaanista tulkintaa realistisessa mielessä. Galilei oli noudattanut ohjetta, mutta kun saatiin uusi paavi, Galilein vanha ystävä, oli aika paljastaa kortit. Galilei otti siis tietoisien riskin.

- Pietro Redondo (1987) on katsonut, että Galilein kerettiläistuomion takana olisi ollut katolisen kirkon sakramentin transsubstantio-opin tulkintaa koskeva kiista. Galilei oli atomisti eikä hyväksynyt katolisen kirkon aristoteeliseen oppiin perustuvaa tulkintaa ”Kristuksen liha ja veri muuttuvat ehtoollisessa leiväksi ja viiniksi”. Tämä oli paha opillinen ristiriita, sillä protestantit olivat tulkinneet juuri näitä sakramentteja omavaltaisesti.

- Galilei oli uskollinen katolisen kirkon kannattaja, mutta itsetietoinen ja varma, että juuri hän pystyi parhaiten myös tulkitsemaan teologiaa. Hänen mielestään uusi tiede ja uskonto eivät voineet olla ristiriidassa. Jumala oli luonut maailman geometriseksi ja rationaaliseksi, ja jos tämä tulkinta oli ristiriidassa Raamatun kanssa, se johtui siitä, että Raamattu oli kirjoitettu siten, että ”tavallinen rahvas” pystyi sen ymmärtämään. Tästä tulkinnasta hän oli valmis kiistelemään hänelle ominaisella poleemisella tavalla.

- Katolinen kirkko teki virheen: 1600-luvulla oli syntynyt uudenlainen tiedeyhteisö, jonka tiedonvälitystä eivät hallitsijat pystyneet kontrolloimaan. Kerettiläiseksi todettu ja kielletty Dialogi käännettiin useille kielille ja levisi suurina painoksina. Katolisesta kirkosta tuli valistuksen modernin tiedekäsityksen päävihollinen.

Galilein tarinan lisäksi tällä toisella kokeilukurssilla (EurB) opetuksessa pyrittiin painottamaan luonnontieteen sosiaalisuutta ja korostamaan Newtonin ja Darwinin tekemien synteisien taustakeksintöjä. Henkilöitä ei haluttu kuitenkaan häivyttää historiasta, koska kyseessä on moderni, tieteen vallankumousta painottava kurssi. Sen opettaminen ilman Newtonia ja Darwinia ei olisi ollut luonnontieteenhistoriallisesti mahdollista.

EurB-ryhmän vastaukset

Kun kurssilla oli purettu Galilein romanttinen kertomus, se merkitsi, että Galileita koskevaan kysymykseen oli huomattavasti vaikeampi vastata, koska yksiselitteistä, helposti muistettavaa

⁶⁵² Nämä argumentit käsiteltiin tunnilla keskustellen: Maassa ei vaikuta jatkuva tuuli. Galileilla mekaniikan ensimmäinen laki oli idullaan, mutta se oli väärässä muodossa, Descartesilla se on täydellisenä, ja siirtyy sitten Newtonin Principiaan. Inertian määritelmä täydellisenä löytyy vasta 1644 Descartesin Principia Philosophiaesta, (esim. I.B. Cohen, Newtonian Revolution, 1978), suhteessa kiintotähtiin ei maan radan eri havaintopisteissä voi huomata kulmaa. Kiintotähtien *parallaxia* eli maan radan ääriasennoista tehtyjen kiintotähtihavaintojen välillä ei havaittu kulmaa. Tämä vastatodiste kumoutui vasta 1820 Besselin havaintojen perusteella, tornista pudotetut kappaleet putosivat samalle etäisyydelle tornista (inertian laki, torni ei liikkunut alta pois, ks. valaiseva kuva Cohen 1984, 25.), Tyko Brahe oli kehittänyt välittävän systeemin, jota pidettiin tähtitieteilijöiden keskuudessa hyvin lupaavana. Kopernikaanisen systeemin tarkkuus suhteessa planeettojen ratoihin oli huonompi kuin ptolemaiolaisen. Vasta Tyko Brahen tarkat havainnot Fyn-saarella ja niiden joutuminen Johannes Keplerin käsiin painoivat vaa’an aurinkokeskeisen järjestelmän puolelle ja Galilein omat virheelliset väitteet, kuten vuorovesiliikkeen selittäminen maan liikkumisen avulla ja Galilein väärä optiikan teoria, vaikeuttivat Galilein muiden käsitysten hyväksymistä.

kertomusta ei enää ollut olemassa. Valistuksen romanttinen kertomus tarjosi helpomman pohjan vastaukselle kuin monia vivahteita sisältävä purettu kertomus. Samalla EurB-ryhmässä kokonaisuudessaan vastattiin vähemmän laajasti luonnontieteen historiaan kuin EurA-ryhmässä. Opiskelijoita EurB-ryhmässä oli 24. Suoraan IE-luokkaan sijoitettuja vastauksia oli kuusi. Lisäksi kolmessa muussa tapauksessa (B4, B7, B23) vastausten luokittelun tueksi jouduttiin keräämään lisätietoja opiskelijan kaikista luonnontieteen historian vastauksista ja kokeen jälkeen tehdyistä NOS-kyselyistä. Esimerkkinä on vastaus B4, jossa kirjoittaja antaa luonnontieteen historiallisesti oikeita tulkintoja skolastiikasta, jotka liittävät luonnontieteen historiaan.

Opiskelija B4 kirjoittaa (kursivointi LH):

”Isaac Newtonin Principia oli (ja on yhä) merkittävä teos, sillä se sisälsi mm. universaalin luonnonlain (esim. gravitaatiolain), se todisti lopullisesti, että maa ei ollutkaan kaiken keskipiste, vaan aurinko (*vertaus aiempaan aristoteeliseen selitysjärjestelmään*). Niin vanha aristoteelinen, antiikin ajoilta asti, voimassa ollut maailmankuva sai väistyä (*käsité maailmankuva oikeassa käytössä*) ja tämän takia Principia on huomattava tieteen merkki-paalu...”

Darwinia koskevassa vastauksessaan B4 jatkaa:

”Darwinin lajien synty sai entisen, kirkon luoman maailmankuvan ihmisestä ja muista lajeista sekaisin (*viittaus vanhaan linneläiseen järjestelmään*). Lajien synty todisti, ettei ihminen ollutkaan täydellinen, Jumalan luoma olento, vaan evoluution tulos, joka oli polveutunut apinoista (*keskeinen implikaatio, jonka Darwin myöhemmin vahvisti*). Raamatun genesis menetti merkityksensä, kun yhä useammat tiedemiehet todistivat evoluution olemassaolon.”

Vastausten hyvä kontekstualisointi vastauksissa puolusti niiden sijoittamista IE-luokkaan. Vastaukset olivat tosin niukat, eikä opiskelija vastannut luonnontieteenhistorialliseen essee-kysymykseen. Kun tarkasteltiin hänen kokeen jälkeen tehdynä NOS-kyselyn vastauksiaan, voitiin nähdä, että hänen tietonsa luonnontieteen historiasta olivat todellakin sekä internalistisella että eksternalistisellä ulottuvuudella IE-luokkaan sopivat. NOS-kyselyssä vastattiin tieteen luonnetta koskeviin kysymyksiin. Esim. luonnontieteen yhteiskunnallisuudesta opiskelija B4 kirjoitti:

”Yhteiskunnan vaikutus tieteeseen näkyy esimerkiksi keskiajalla, jolloin kirkko halusi kieltää joidenkin ajatusten leviämisen sensuurilla ja kirkon vaikutus näkyy ja vaikuttaa myös tutkijan ajatuksiin/tutkimuksiin. Esimerkiksi Isaac Newton harjoitti alkemiaa salaa anglikaaniselta kirkolta.”

Kun kaikki opiskelija B4:n tuottamat vastaukset yhdistetään, huomataan, että:

- opiskelija käyttää luonnontieteen historiaa aina kontekstuaalisesti oikein,
- opiskelija hallitsee varmasti luonnontieteen historialliset faktat eri aikakausilta,
- opiskelija tekee niistä oikeita teorioita ja tieteensosiologiaa koskevia yleistyksiä. Suunnattuja kertomuksia käytetään vastauksissa mutta ei kuitenkaan minkään vastauksen runkona, ja siksi luokittelu kertomusulottuvuuden osalta on k.

Opiskelija B23 vastasi myös melko lyhyesti mutta asiantuntevasti luonnontieteen historiaan. Koska hän kirjoitti esseen valistusfilosofiasta eikä luonnontieteen historiasta, luokittelu oli vaikeaa, ja sen tukena käytettiin opiskelijan NOS-kyselyn vastauksia. Kysymykset käsittelivät seuraavia NOS-teemoja: 1. teorian ja lain välinen ero, 2. luonnontieteen yhteisöllisyys, 3. havaintojen ja tulosten teoriapitoisuus, 4. luonnontieteen historiallisuus, 5. matemaattisuus versus luokittelu luonnontieteessä, 6a. luonnontieteen historiallisuus ja 6b. luonnontiede ja etiikka):

”1. Evoluutioteoria: lajit syntyneet, niitä ei ole luotu, luonnollinen valinta. Parhaiten valitseviin olosuhteisiin sopeutuva yksilö selviää, muut karsiutuvat. Ajan kuluessa laji muuttuu olosuhteiden mukana (esim. kirahville kasvaa pitkä kaula). Newtonin mekaniikka: kappaleet vetävät toisiaan puoleensa, Gravitaatio: planeetat pyörivät radoillaan G:n vaikutuksesta, omena putoaa maahan, ei avaruuteen (hyviä internalistisia näkökohtia).

2. Vaikka tiedeyhteisöissä usein askarrellaan saman asian kimpussa (esim. evoluutioteoria), julkaiseminen pelottaa, vastaanoton ja kritiikin vuoksi (Darwin – Wallace -tapaus) taikka muut tutkijat saattavat myös olla kateellisia siitä, etteivät julkaisseet itse (tiedeyhteisön merkitys, tiettyjen ongelmien keskeisyys, multippelikeksinnöt tieteessä).

3. Esim. Darwinin evoluutioteorian sovelluksia, jotkut rodut ovat toisia älykkämpiä. Eräs tutkija alkoi tutkia eri rotujen älykkyyseroja mittaamalla heidän aivojensa kokoa (tieteenharhapolku, kraniologia). Tutkittavat olivat mm. intiaaneja, kiinalaisia, neekereitä ja valkoisia (tutkija oli englantilainen). Hän pyöristi aivojen koonmittaukset tulokset ylöspäin. Näin sai tuloksen: valkoiset ovat älykkäimpiä (tieteellinen maailmankuva ja havaintojen teoriapitoisuus, hyvä eksternalistinen sovellus).

4. Tiettyinä aikana ollaan kiinnostuneita ajankohtaisista, muodikkaista asioista. Usein useampi tutkija tutkii samaa asiaa ja vain on ajan kysymys, kuka julkaisee ensin. Mm. keskiajalla katolinen kirkko päätti asioista, eikä tutkijoilla ollut vapaita käsiä (hyviä tieteenhistorian eksternalistisia näkökohtia).

5. Lait ovat sovellettavissa...mutta luokittelukin on tärkeää ja helpottaa ja nopeuttaa tutkimusta jatkossa. Jos ne muotoillaan laeiksi, niitä on helppo soveltaa edelleen uusiin säännönmukaisuuksiin. Toisaalta tämäkin on luokittelua. Molemmat ne ovat yhtä tieteitä.

6a. Aristoteles eli 2500 vuotta sitten. Tutkimusta on tehty koko ajan, tiedetään enemmän ja koko ajan avautuu uusia kohteita, mitä tutkia.

6b. Mielestäni eettiset kysymykset eivät kuulu luonnontutkimukseen. Heidän tehtävänsä on tuottaa tietoa: havainnoida maailmaa sellaisena kuin se on. He kirjoittavat ylös sen mitä he näkevät (ainakin pitäisi), ei mitä haluaisivat nähdä. Luonnontiede on tosiasioiden tutkimista ja soveltamista. Arvoja tutkivat eri henkilöt. Eettisiin kysymyksiin on aina monta vastausta. Luonnontieteessä yksi. Eettiset kysymykset ovat mielestäni toisarvoisia, ensin tulee faktoja, sitten vasta mielipiteet. Arvot ovat syntyneet ihmisten mielessä, luonto on ilman ihmistäkin.”

NOS-kyselyn vastaus sisälsi niin paljon validia luonnontieteen historiallista tietoa, että perusteet sijoittaa vastaus B23 luokkaan IE vahvistuivat. Luokkaan IE sijoittui EurB-ryhmässä täydentävien analyysien jälkeen 9 vastausta, joista yksikään ei enää sisältänyt valistuksen vahvaa kertomusta vastauksen perusrunkona. Seitsemän näistä käytti vastausrakenteessa

koyrélaista luonnontieteen historian kertomusta. EurB-ryhmässä korkeatasoisimpien vastaus-ten välillä rajalinja humanismi – luonnontieteet ei ollut yhtä selvä kuin EurA-ryhmässä. Sel-keästi luonnontieteellinen internalistinen painotus löytyy vastauksista B8, B9 ja B22. Huma-nistisia eksternalistisia vastauksia taas olivat B18, B20 ja B23. Vastaukset B2 ja B15 voidaan luokitella niiden monipuolisuuden vuoksi molempiin.

Myyttistä kertomusta Galileista pyrittiin vaimentamaan purkamalla se luonnontieteen histori-an nykytulkinnan mukaiseksi sekä antamalla Galilein inkvisitiotuomiolle monia eri tieteellisiä ja valtatulkintoja. EurB-ryhmässä vain yksi vastaus Galileita koskevaan kysymykseen sisälsi romanttisen kertomuksen. Kyseinen vastaus B5 kertoo:

”Oliko Galileo Galilei tieteen marttyyri?

Galileo Galilei eli ja toimi luonnontieteilijänä, kun katolisen kirkon vaikutusvalta oli vielä voimakasta, joskin jo suuntana pikkuhiljaa oli kirkon ehdottoman auktoriteetin heikenty-minen. Galilei havaitsi, että vastoin kirkon opettamaa ptolemaiolaista, eli maakeskeistä maailmankuvaa Aurinko olikin maailmankaikkeudessa olevien planeettojen ja tähtien keskipiste. Hän keskusteli aiheesta muiden luonnontieteilijöiden ja astronomian harrasta-jien kanssa, ja vakuuttui entisestään tekemistään havainnoista. Tästä katolinen kirkko ei pitänyt. Galilein havainnot olivat ristiriidassa kirkon opettaman ”ehdottoman ja ainoan” totuuden kanssa (*tulkinta liian yksioikoinen*).

Galilein kirjoittama kirja aiheesta joutui kiellettyjen kirjojen listalle ja Galileita kiellettiin puhumasta tutkimuksistaan. Galilei kuitenkin jatkoi puhumista, ja painokiellostä huoli-matta kirja levisi maailmalle ja oli suosittu (*hyvä eksternalistinen huomio, tieteen verkos-toituminen ylitti ruhtinaskuntien ja uskontojen rajat*). Pian Galilei istui inkvisition eli kirkon tuomio-istuimen edessä. Se ei saanut tuomita ketään ennen kuin tämä oli tunnusta-nut olevansa väärässä ja kirkon oikeassa. Tunnustuksen saamiseksi yleensä käytettiin jul-mia kidutusmenetelmiä. Kidutuskuvitelma päässään Galilei matkusti oikeudenkäyntiin, joka oli varsin omalaatuinen. Tilaisuudessa ei ollut muita kuin kuulustelijat, eikä Galilei saanut mahdollisuutta puolustaa itseään.

Lopuksi Galilei sai elinikäisen kotiarestiin, koska tunnusti kuitenkin polvillaan kirkon olevan oikeassa. Tämän takia en kutsu Galileita tieteen marttyyriksi. Monet tiedemiehet ennen ja jälkeen Galilein tunnustivat kirkon olevan väärässä ja tieteen oikeassa. He sei-soivat sanojensa takana loppuun asti, ja useimmiten tulivat hirtetyiksi tai elävältä polte-tuiksi. Kovan paikan tullen Galilei kuitenkin hannaroi eikä tunnustanut tiedettä, vaikka moni muu oli kuollut sen puolesta. Galilei oli tieteen edellä kävijä ja uranuurtaja, sitä ei voi kieltää. Mutta marttyyri ei hän ollut.”⁶⁵³

⁶⁵³ Toinen huomion arvoinen esimerkki on vastaus B11. Se on esimerkki vastauksesta, jossa on tieteen vallankumo-uksesta hyvää internalistista tulkintaa (i), mutta sen eksternalistinen puoli epäonnistuu (luokka O), ja pohjakertomuk-sena on valistuksen suuri kertomus (V):

”Tieteen vallankumous. Tieteellinen vallankumous siis alkoi Newtonin opeista. Hän vastusti antiikin aikana valinnut-ta aristoteelis-ptolemaiolaista käsitystä tähtitieteestä. Newtonin ansioista ruvettiin ajattelemaan, ettei Maa välttämättä olekaan kaiken keskipiste (Newtonilainen ajatusmalli). Nyt alettiin myös etsiä mitä-kysymysten vastauksien sijaan miten-kysymykselle vastauksia. Muutama vuosi myöhemmin puolalaissyntyinen Johannes Kopernikus vahvisti kokeillaan Newtonin oppeja tähtitieteessä sekä tarkensi niitä. Näin Newton sai lisää kannatusta. Myös Galileo Galilei vaikutti tieteellisen vallankumoukseen. Hän löysi auringon pilkut sekä uutta Jupiterin neljä kuuta. Tähtitieteen lisäksi myös luonnontieteessä tehtiin uusia havaintoja alan tiedemiesten tehtiin uusia havaintoja alan tiedemiesten tutkiessa

Vastaus on tyypillinen valistuksen romanttinen Galilei-tarina. Sen kohdalla päädyttiin luokkiin 0, e ja V. Vastaus sisältää paljon oikeita tietoja tieteeseen ja uskon suhteesta 1600-luvulla, vaikka perussävy vastauksessa on romanttisen kärjistävä.

Myös muunlaiset luonnontieteen historian kärjistetyt valistustulkinnat olivat EurB-ryhmässä suhteellisesti harvinaisempia kuin EurA-ryhmässä. EurA-ryhmässä (27 opiskelijaa) niitä oli 13 vastauksessa ja EurB-ryhmässä (24 opiskelijaa) 6 vastauksessa. Nerotulkintoja löytyi molemmista ryhmistä yhtä paljon. Esimerkiksi B14 selostaa sekä *Principian* että Lajien synnyn hyvin ja kertoo myös asiantuntevasti ptolemaiolaisesta maailmankuvasta. Hän ei kuitenkaan sovello tieteellisen maailmankuvan käsitettä esseevastaukseen vaan kirjoittaa:

”Tieteen neroja on aina ollut olemassa, koska vain tietyt henkilöt ovat jääneet kirjoihin läpimurtojensa ansiosta. Nämä henkilöt ovat olleet selkeästi tavallista tallajaa älykkämpiä ja todennäköisesti älykkäimpiä ihmisiä.” (B14)

Luonnontieteen historian kannalta näkökulma ei ole korkeatasoinen, koska esseessä taustalla on liioiteltu nerotulkinta. Samanlainen tulkinta oli myös vastauksissa B16 ja B24. Hyvissä luonnontieteenhistoriallisissa vastauksissa tunnustetaan lahjakkuuden merkitys, mutta luonnontieteen historian sosiaalinen tulkinta asettaa järkevät rajat nerouden merkitykselle luonnontieteen historiassa.

Myyttisenä piirteenä EurB-kurssinkin vastauksissa siis edelleen esiintyy liiallista neropainotusta. Tämä johtuu mahdollisesti kurssin perusrakenteesta. *Eurooppalainen ihminen* on luonnontieteen historian moderni kurssi, ja länsimaisen historian suuret nimet kuten Galilei, Newton ja Darwin (ja filosofit Sokrates, Aristoteles ja Platon, sekä taiteilijat kuten Leonardo da Vinci, Michelangelo ja Raffaello) nousevat siinä esiin korostetusti historian vaikuttajina. Myös korkeatasoisissa IE-luokan vastauksissa kirjoitettiin, kurssin näkökulman mukaisesti, usein painotetusti samoista henkilöistä. Kurssissa *Eurooppalainen ihminen* suurmieshistorian piirteistä on hyvin vaikea päästä eroon. IE-luokan vastausten määrässä tulokset olivat kokonaisuudessaan samansuuntaisia ryhmien EurA ja Eur B välillä. Suurin muutos on ulottuvuudella N, narratiivit: myyttisten kertomusten määrä oli toisella kokeilukerralla vastauksissa suhteellisesti pienempi kuin ensimmäisellä kokeilukierroksella. Merkillepantavaa on, että romanttisia Galilei-kertomuksia löytyy yhdeltä opiskelijalta. Toisaalta puretun Galilei-kertomuksen luonnontieteenhistoriallinen kompleksisuus ilmeisesti myös karkotti vastaajia luonnontieteenhistoriallisista aiheista. EurA-ryhmän suosikkikysymykseen Oliko *Galilei tieteen marttyyri?* vastasi Euro-ryhmässä vain yksi opiskelija.

luontoa ja sen lakeja yhä innokkaammin. Lääketiedekin kehittyi roimasti 1500-luvulla yleistyneiden ruumiinavausten ansiosta. Nyt maailma oli asia, jota pystyttiin tutkimaan kunnolla, sillä uudet havainnot esimerkiksi juuri tähtitieteessä sivustivat kansaa. Niiden pohjalta pystyttiin rakentamaan aina uutta ja uutta. Varsinkin Isaac Newton painotti tutkimuksissaan matematiikan tarkkuutta, minkä takia hänen tutkimuksensa tuloksena olivat niin luotettavia. Tieteellisellä vallankumouksella tarkoitetaan siis ajan kanssa tapahtunutta vallankumousta tieteessä ja sen eri aloilla: tähtitiede, luonnontiede ja lääketiede. Tieteellisellä vallankumoukseen vaikuttivat monet merkittävät henkilöt, kritisoiden ja tukien toistensa oppeja. Tieteen edistymien mahdollisti ihmiskunnan kannalta uusia tärkeitä keksintöjä. Ensimmäistä kertaa historiassa ihminen alisti luonnon lait ja harjoitti tieteen tutkimusta, kunhan se olisi ihmisille hyväksi ja sitä olisi jotain hyötyä.”

Taulukko 6: Erilaisten myyttisten luonnontieteenhistoriallisten kertomusten esiintyminen EurB -ryhmässä.

Galilein romanttinen kertomus	Voimakas neropainotus	Voimakas positivismi
B5 (1)	B11, B13 ⁶⁵⁴ , B14, B16, B24 (5)	0
N=1	N=5	N=0

⁶⁵⁴ Vastaus B13: ”Kun Darwin julkaisi lajin synnyn, se aiheutti suurta porua. Se oli kirkon oppeja vastaan, koska raamatun mukaan Jumala oli luonut kaiken tällaisena kuin se on nyt. Se oli paha isku kirkolle. Darwin edisti tulevaa tiedettä, sillä nyt ihmiset tiesivät mistä tulivat. Lajien synnyn takia kirkko alkoi menettää asemaansa ja teki tilaa tieteelle.

Koska kun Isaac Newton julkaisi teoksensa sijoittui juuri tieteelliselle vallankumoukselle. Newton julkaisi kolme lakiaan, joiden avulla käsitykset maailmasta lähtivät muuttamaan yhä radikaalimmin. Hän keksi mm. Gravitaatiolain.

...Galilei joutui kieltämään oppinsa, ettei kuolisi!”

Vastaaja B13 tietää jonkin verran Newtonin ja Darwinin teorioiden merkityksestä, mutta toisaalta keksimisestä ei ole prosessikuvausta eikä hän viittaa lainkaan tieteen sosiaalisiin piirteisiin. Vastaus sijoitettiin luokkiin i, 0, V.

Taulukko 7: Yhteenveto toisen opetuskokeilun (EurB) vastauksista.

opiskelija	I	E	N
1. B	i	0	k
2. B	I	E	K
3. B	I	E	k
4. B	i	e	k
5. B	0	e	V, k
6. B	I	e	k, V
7. B	I	E	K
8. B	I	E	K
9. B	I	E	K
10.B	i	e	k
11.B	i	e	V
12.B	I	e	k
13.B	i	0	V
14.B	i	0	V, k
15.B	I	E	K
16.B	i	0	V
17.B	i	e	k
18.B	i	E	K
19.B	I	e	K
20.B	I	E	K
21.B ⁶⁵⁵	0	0	0
22.B	I	E	k
23.B	I	E	k
24.B	i	0	V

Kokeilukurssien tulosten luotettavuus ja yleistettävyys

Käytetyt kehittämispilarit (I, E ja N) perustuivat vankkaan teoriapohjaan. Niitä sovellettiin aluksi oppikirja-analyysissä. Analyysi pyrittiin tekemään mahdollisimman kattavasti ja tekstiin sisällytettiin runsaasti esimerkkejä luokittelusta. Oppilaiden vastauksia analysoitaessa luokittelua tarkennettiin (I, i; E, e ja K, k). Luokittelun perusteet avattiin asetelmassa 4. Kurssin *Eurooppalainen ihminen* suorittaneiden opiskelijoiden (ryhmät EurA, EurB, EurF, EurK) esseevastaukset arvioitiin luonnontieteen historian kolmen opetuspilarin tarkennetun version pohjalta luotujen sisältötavoitteiden mukaisesti. Vastaukset luettiin ja analysoitiin useaan kertaan. Vastauksissa EurB 1–10 ja EurF 1–5 käytettiin rinnakkaislukijaa. Menettelyllä pyrittiin varmistamaan luokitusten ja esseevastausten tulkintojen luotettavuus.⁶⁵⁶

⁶⁵⁵ B21 vastasi niin niukasti tieteenhistorian kysymyksiin, että vastaus sijoitettiin luokkiin 0, 0, 0.

⁶⁵⁶ Tutkijan ja rinnakkaislukijan tekemät luokitukset olivat muuten yhteneväiset, vain yhdessä vastauksessa (EurB5) alkuperäistä luokitusta nostettiin neuvottelun jälkeen ylöspäin eksternalismi ulottuvuudella nollasta e:hen.

Kehittämistutkimuksessa käytetty koulu on suhteellisen korkeatasoinen sikäli, että sen sisänotossa sisäänpääsyrajana on yleensä noin yhdeksän keskiarvo. Tämän tutkimuksen tulokset eivät siten välttämättä ole suoraan sovellettavissa yleisesti lukio-opetukseen. Tarvittaisiin jatkokokeiluja. Kokeilussa opiskelijoiden koevastausten luonnontieteen historialliset sisällöt olivat muokatuilla kokeilukursseilla tavoiteltujen päämäärien kannalta lupaavia, mutta kyseessä oli toki vain yksi kokeilu, joka tehtiin vaatimattomin resurssein. Eräs design-tutkimuksen tulosten arviointiperuste on, miten kehitetyillä artefakteilla saavutetaan kestäviä tuloksia tyypillisissä luokkahuoneissa.

7. MITÄ OPITTIIN?

Mitä luonnontieteen historiasta pitäisi opettaa? Kysymykseen etsittiin vastausta kahdelta taholta: historian tutkimusyhteisöstä ja NOS-teemojen opetuskokeiluista. Luonnontieteen historian opetuksen tavoitteet on luonnontieteen osalta määritelty NOS-teemojen opetuksessa. Tutkimuksen alkuperäinen lähtökohta oli käyttää luonnontieteen opetuksen NOS-tutkimusta historian opetuksen kehittämiseen. Tästä lähtökohdasta jouduttiin osittain luopumaan, koska NOS-tavoitteet eivät suoraan sopineet historian opetussisältöjen kehittämiseen. NOS-tutkimuksesta saatiin pedagogisia periaatteita sekä käytännön esimerkkejä siitä, miten luonnontieteen historian sisältöjä on käytetty opetukseen.

Luonnontieteen historian tutkimusyhteisö määrittelee historian opettamisen tavoitteeksi opiskelijan tasapainoisen kokonaiskuvan (Big Picture) luonnontieteen historiasta. Tutkimusyhteisö on ottanut luonnontieteen historian opettamiseen kantaa teoreettisesti (Big Picture -keskustelu) sekä käytännössä kirjoittamalla luonnontieteen historian yleisesityksiä. Näissä yleisesityksissä on nähtävissä kaksi eri näkökulmaa luonnontieteen historiaan: internalismi-HPS ja eksternalismi-STs. Eri aikakausien yleisesitysten näkemykset näistä luonnontieteen historian tutkimusnäkökulmista ja luonnontieteen historian keskeisistä sisällöistä ovat muuttuneet. Opetuksessa olisi käytettävä tulkintoja, jotka sisältävät molempia perinteitä niiden ajantasaisimmassa muodossa.

Teoreettisen analyysin perusteella tässä kehittämistutkimuksessa rakennettiin ensin kaksi luonnontieteen historian opettamiseen kehittämispilaria luonnontieteen historian internalistisen tulkinnan ja eksternalistisen tulkinnan syventämiseen. Keskeiset päätelmät kyseisten pilarien sisällöistä olivat seuraavat:

– Luonnontieteen historian internalistinen opetussisältö tulee pyrkiä nostamaan luonnontieteen historian tulkinnan kontekstuaaliseen vaiheeseen (HPS-tavoite). Jotta tavoitteeseen päästään, opetuksessa on luovuttava ”kattavuuden maniasta” ja valittava luonnontieteen historiasta opetuksen kannalta vain keskeisiä teorioita ja historiallisia episodeja, joita pyritään opettamaan riittävän laajasti. Tasapainoisen kokonaiskuvan saamiseksi opiskelijoiden olisi kuitenkin tunnettava länsimaisen luonnontieteen historian keskeiset piirteet. Tässä muodossa HPS -opetusohjelma on yhteensopiva sen kanssa mitä opetuksesta kiinnostuneet luonnontieteen historian tutkijat esittävät.

– Luonnontieteen historian eksternalistisen tulkinnan kehittämispilari on historian opetuksessa välttämätön luonnontieteen historian kokonaiskuvan tasapainottaja. Opiskelijoille on annettava realistinen kuva siitä, miten ”tiedemiehet” todellisuudessa ovat tehneet tutkimusta eri aikakausina ja olleet jäseniä aikakauden tiedeyhteisössä ja yhteiskunnassa. Mitä eksternalistinen opetus käytännössä pitää sisällään? Eksternalistien mukaan opiskelijoiden tulee saada käsitys seuraavista luonnontieteen historian pääteemoista:

1. Luonnontieteen makrososiologiasta, joka tutkii luonnontiedettä instituutiona, luonnontieteen vertaisarviointijärjestelmää, luonnontieteellisen tiedon välittymistä, kilpailujärjestelmää, palkitsemista, rahoitusta, luonnontieteen normijärjestelmää ja erityisesti 1900-luvun luonnontieteeseen liittyviä ”Big Science” -piirteitä.

2. Toiseksi opiskelijoiden on tunnettava luonnontieteen historian mikrososiologinen tulkinta. Mikrososiologinen näkökulma pyrkii valottamaan luonnontieteellistä tutkimusta prosessina. Nämä tavoitteet eivät ole ristiriidassa internalistisen kontekstuaalisuuden kanssa. Luonnontieteen tutkimukseen liittyy aina myös paikallisuus ja epävarmuus, jonka vuoksi on kuvattava myös vääriä ja vanhentuneita teorioita. Luonnontiede ja ”tieto” ovat nykyisin sosiaalisesti hyvin monimutkaisia järjestelmiä. Monet tieteenfilosofit kuvaavat luonnontiedettä verkkona, jonka toimijoita eivät ole ihmiset vaan verkon tihtentymät. Lisäksi luonnontieteen historian tutkimus on löytänyt opetukseen tiedon käytännöllisyyden aspektin. Tämä näkökulma irrottaa luonnontieteen historian kiinteästä yhteydestä tieteenfilosofiaan (ei koske HPS-tavoitteita) ja liittää sen tekniikkaan ja talouteen.

– kolmas opetuspilari on tarkoitettu erityisesti opettajan avuksi päivittäiseen opetustyöhön. On löydettävä tapoja erottaa myyttinen luonnontieteen historia validista historiasta. Niinpä kolmannessa kehittämisspilarissa kehitettiin opetukselliset perusteet kertomusten käytölle. Luonnontieteessä historian kertomuksilla on tehtäviä, joita ei historian opetuksessa voida hyväksyä: kertomuksilla ei ole sinällään tarkoitus viihdyttää, toimia ”oven aukaisijana”, ”tuoda tyttöjä mukaan luonnontieteen opiskeluun” tai toimia luonnontieteen koulutuksen puolestapuhujana ”Science Wars” -rintamalla. Luonnontieteen historian opetuksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota opetettaviin kertomuksiin ja niiden on palveltava luonnontieteen historian omia opiskelupäämääriä.

Kehittämistutkimus sopi hyvin malliksi luonnontieteen historian käytännön kokeiluun. Kehittämistutkimukseen (DBR -tutkimus) käytettiin tutkimusmateriaalina luonnontieteen historian esseevastauksia, koska ne ovat lukion oppimisen tavanomaisin arviointiperuste. Kun tarkastellaan lukion opetussuunnitelmia luonnontieteen historian kannalta, niin luonteva sisältökokeilun paikka oli historian kurssi Eurooppalainen ihminen.

Muokkauksen perustaksi analysoitiin kurssin Eurooppalainen ihminen opetussuunnitelman kurssikuvaus ja oppikirjat. Kolmen kehittämisspilarin kannalta ja tehtiin oppimateriaalin muokkauksen tarveanalyysi. Analyysin perusteella oppikirjoissa ja oppikirjojen pohjalta kirjoitetuissa opiskelijoiden esseevastauksissa havaittiin vanhentuneita sekä internalistisia ja eksternalistisia tulkintoja. Lisäksi niin kirjat kuin niiden pohjalta kirjoitetut vastauksetkin sisälsivät runsaasti myyttisiä kertomusrakenteita. Luonnontieteen historian oppimateriaalin muokkaukselle oli siis olemassa tarvetta. Kokeilukurssien luonnontieteen historian sisältömuokkauksia tehtiin kolmen opetuspilarin mukaisesti. Keskeiset artefaktin kehittämisen didaktiset periaatteet on kuvattu luvussa 6.2 ja luvussa 6.4 nämä periaatteet on siirretty luonnontieteen historian sisältöjen osalta kurssiin *Eurooppalainen ihminen*. Tämä artefakti on nyt visionäärisenä päämääränä alistettu tiedeyhteisön arvioitavaksi ja edelleen kehitettäväksi.⁶⁵⁷

Muokattu kurssisisältö opetettiin kahteen kertaan ja opiskelijoiden vastaukset analysoitiin kolmen opetuspilarin kannalta. Kun verrataan tuloksia kokeilukurssin ryhmien EurA ja EurB vastauksia itsenäisesti tenttineiden ryhmien EurF ja EurK tuloksiin, niin kahden ensimmäisen opetuspilarin suhteen opetuskokeilu johti parempiin vastauksiin luonnontieteen historiassa.

⁶⁵⁷ Niiden tuloksia ei tässä kerrata, koska ne on laajasti esitelty näissä kahdessa kappaleessa: 6.2. Yleiset didaktiset periaatteet, s.163 ja sovellus luonnontieteen historiallinen kurssiin Eurooppalainen ihminen s. 168(6.4).

Internalistisesti saavutettiin useammin sekä kontekstuaalisia tulkintoja että tieteesosiologisesti parempia vastauksia kuin vertailuun käytetyissä ryhmissä.

Kertomuspilaria käytettiin kurssin kertomusvalikon kehittämiseen. Oppikirjojen sisältöanalyysi ja opiskelijoiden vastaukset osoittivat, että Galileo Galilein myyttinen, eepin romanttinen kertomus on juurtunut niin syvään historiakulttuuriin, että se vaatii opetuksessa aivan oman myytinpurkamisprosessinsa. Opetuksen tuleekin tarjota luonnontieteen historian sisällöstä otettuja, suunnattuja kertomuksia, ja toisaalta opetuksessa on eksplisiittisesti käsiteltävä kaikkia kulttuurissa esiintyviä myyttisiä luonnontieteen historian kertomuksia. STS-opetuksessa kiinnitetään erityinen huomio luonnontieteen historian kokonaiskuvaan vääristävien ja oppimista haittaavien myyttien purkamiseen. Nämä seikat huomioiden myös narratiivipilarissa saavutettiin luonnontieteen historiassa edistymistä.

Luonnontieteen opetuksen NOS-kokeilujen mukaan opetuskokeilujen heikkous on, että kokeilukursseilla saavutettu edistyminen ei yleensä ole pysyvää. Tutkimuksissa on havaittu, että kestävien muutosten aikaansaaminen opiskelijoiden ajattelussa vaatii pitkäjänteisyyttä ja opetuskulttuurin laajamittaista muutosta opetussuunnitelmissa, opettajankoulutuksessa, opettajanoppaissa, opetusmateriaaleissa ja oppikirjoissa. Siinä mielessä tätäkin kehittämistutkimusta voidaan pitää keskeneräisenä.

Tutkimus osoitti selkeitä jatkotutkimustarpeita. Luonnontieteen historian opetusta lukiossa voidaan kehittää kahdella tapaa:

1. Jos luonnontieteen historia käsitetään osaksi historia oppiainetta, niin yksi kurssi, Eurooppalainen ihminen jättää, luonnontieteen historian kokonaiskuvaan aukkoja. Luonnontieteen historian opetus on ulotettava aina 1900 -luvun loppuun asti tai oikeastaan nykyaikaan. Eurooppalaisen ihmisen opetussuunnitelman mukainen moderni sisältörajaus ei tähän tehtävään sovi. Kehitettäväksi kursseiksi on otettava lukion ensimmäinen, talous ja sosiaalishistoriaan painottuva kurssi, sekä kolmas kansainvälisten suhteiden kurssi. Tällöin voidaan korostaa luonnontieteen historian kokonaiskuvaan opetuksen STS-teemoja.
2. Toinen mahdollisuus on, että luonnontieteen historiaa käytetään sisältöjä rikastavana materiaalina sopivin kohdin historiassa (painotus HPS -sisällöissä), yhteiskuntatieteissä (painotus STS -sisällöissä), luonnontieteissä tai katsomusaineissa (elämäkatsomustieto, filosofia ja uskonto). Kaikkiin tiedepohjaisiin oppiaineisiin luonnontieteen historia sopii rikastavaksi sisällöksi. Luonnontieteen historiaa on jo käytetty yhdistävänä teemana eri aineiden opetuksessa (Hodsonin ja Carsonin kokeilukurssit). Tällaiset integroivat kurssit olisivat tervetulleita oppiaineita yhdistävinä ja eheyttävinä kursseina. Helsingin normaalilyseon tieteellisen maailmankuvan kurssi on juuri tällainen monen aineen yhteistyökurssi.

Pysyvyyden suhteen kokeita on laajennettava kahta reittiä: ensinnäkin on jatkettava luonnontieteen historian kokeiluja muiden historiankurssien ja muiden oppiaineiden osalta. Lisäksi käytettävä materiaali on kirjoitettava opettajien käytettäväksi opetusmateriaaliksi, jota voi käyttää opetukseen ilman erityistä opettajan oppaan kaltaista tekstiä. Lisäksi on tutkittava tekniikan historiaa yhteydessä luonnontieteen historiaan. Tiedon käytännöllinen aspekti on

nykyään keskeinen luonnontieteen historian tutkimusala, ja se yhdistää luonnontieteen talouden historialliseen perustaan. Tätä ei opetussuunnitelmissa tai oppikirjoissa ole otettu huomioon. Ennen kuin kokeiluja jatketaan, on aiheellista käydä keskustelu opetuksen tutkimusyhteisössä tutkimuksen tuloksista ja sen jatkosta.

LIITE

Kokeilukurssi *Eurooppalainen ihminen* käytännön toteutus

Molemmat kokeilukurssin opetuskerrat EurA ja EurB opetettiin samalla tavalla, samoin sisältöin. Jos muutoksia tehtiin, ne mainitaan aina erikseen tekstissä. Kurssin käytännön muokkauksessa käytettiin lähteinä laajaa valikoimaa luonnontieteen historian yleistekoksia, joiden sisältöjä on kuvattu erillisessä luvussa. Niiden avulla saatiin perusteltuja sisältöratkaisuja kurssiin ja pyrittiin löytämään sopiva ”mediumtaso” luonnontieteen historian tutkimuksen ja opetuksen kielen välille.⁶⁵⁸ Tähän välittävään kirjallisuuteen ja niihin perustuviin sisältöratkaisuihin viitataan alaviitteissä.

Kokeilukoulu:

Kokeilukoulu oli Helsingin normaalilyseon lukio. Kokeilun suunnittelija ja toteuttaja toimii tässä koulussa historian ja yhteiskuntaopin lehtorina.

Opiskelijat

Kokeiluun osallistuivat *Eurooppalaisen ihmisen* kaksi kokeilukurssia EurA ja EurB, jotka käyttivät oppikirjanaan *Forum 2* kirjaa. Vertailuryhmäksi muodostettiin EurF- ja EurK -ryhmät, joidenka opiskelijat tenttivät kurssin *Eurooppalainen ihminen*. Suurin osa kurssien oppilaista oli ensimmäisen vuoden lukiolaisia (16-vuotiaita), joilla oli takanaan yksi pakollinen historian kurssi (*Ihminen, yhteiskunta ja ympäristö*). Oppilaat eivät edustaneet keskivertolukiolaisia, sillä Helsingin normaalilyseon lukion sisäänottomiesi keskiarvo on n. 9. Tämä rajoittaa kurssin tulosten suoraa yleistettävyyttä lukio-opetukseen.⁶⁵⁹ Molemmat kokeilukurssit olivat mukana opetusharjoittelussa, joten osan kurssin sisällöistä opettivat opetusharjoittelijat. Kurssin luonnontieteen historialliset teemat olivat saman ohjaavan opettajan opettamia. Kursien sisältö opetettiin nyt ensi kertaa kokonaisuudessaan sisällytettynä *Eurooppalainen ihminen* kurssiin.

⁶⁵⁸ Niistä pyrittiin etsimään luotettavien tieteenhistorian julkaisujen (Isis, History of Science jne.) arviot niiden vahvuuksista ja puutteista.

⁶⁵⁹ Kokeilukurssin tarkoituksena ei kuitenkaan ollut tutkia oppilaiden oppimista, vaan pyrkiä kehittämään *tieteenhistorian sisältöjä* lukion opetukseen. Tämän vuoksi korkea keskiarvo ei ollut vakava haitta.

Taulukko 1. Kokeiluun osallistuneet Helsingin normaalilyseon opiskelijat.

ryhmä	naisia	miehiä	yhteensä
EurA	20	7	27
EurB	15	9	24
Eur (F ja EurK)	16	5	21
yhteensä	51	21	72

EurA- ja EurB -ryhmien opiskelijat olivat suurimmaksi osaksi ensimmäisen vuosikurssi opiskelijoita; joukossa oli myös muutamia toiselta vuosikurssilta.

Kokeilukurssin Eurooppalainen ihmisen kaksi opetuskertaa:

Ensimmäinen opetuskierros (30.11.2006–5.2007, kurssilla 27 oppilasta) EurA.

Tutkimuksen alkuperäisidea oli testata NOS -teemojen kysymyksiä. Kysymyskaavakkeet täytettiin ennen kurssin opetusta ja opetuksen jälkeen. NOS -kysymyksillä saatiin tärkeää tietoa opiskelijoiden tieteenhistorian tietämyksestä ennen opetusta, ja toisaalta ne toimivat myös tärkeinä täydentäjinä opiskelijoiden esseevastauksia arvioitaessa. Kurssikokeet taas sisälsivät kattavasti kysymyksiä luonnontieteen historiasta, ja niiden vastausten perusteella pystyttiin hahmottamaan opiskelijoiden luonnontieteen historiallisia käsityksiä.

Toinen opetuskierros (7.4.2007–22.5.2007, kurssilla 24 oppilasta)

EurB -kurssikokeiden vastausmateriaalista ei ainoastaan kirjoitettu puhtaaksi oppilaiden luonnontieteen historian vastauksia vaan pyydettiin oppilaiden alkuperäiset vastaukset tutkimuskäyttöön. Vastauksista irrotetut luonnontieteen historian fragmentit oli syytä aina liittää uudestaan opiskelijan muihin vastauksiin, sillä usein myös muutkin vastaukset sisälsivät viittauksia luonnontieteen historiaan. Lisäksi koevastauksen kokonaisuus antoi myös selkeitä viittauksia siitä, mitä opiskelija on voinut tarkoittaa jollain epäselvällä vastauksella. Luonnontieteen historian tausta-analyysin ja Helsingin normaalilyseon *Tieteellisen maailmankuva* -kurssin aikana tehtyjen pedagogisten kokeilujen perusteella kehitettiin didaktinen artefakti: luonnontieteen historian opetuspaketti, joka siirrettiin lukion historian pakolliseen kurssiin *Eurooppalainen ihminen*. Opetuskertojen välillä kurssia edelleen kehitettiin saatujen kokeilujen perusteella.

Kurssin sisältö:

Kurssin opetuksessa pyrittiin tarjoamaan monipuolisesti ja monentasoisesti luonnontieteen historiallista tietoa. Sisältö muokattiin kolmen kehittämisspilarin periaatteiden suuntaisesti ja otettiin huomioon opetukselliset lähtökohdat (kontekstualismi, presentismi ja keskusideat). Luonnontieteestä pyrittiin antamaan naturalistinen kuva ja häivyttämään suurmieshistoriaa ja platonilaista aatehistorian juhlallisuutta.

Seuraavaksi käydään luettelomaisesti läpi kokeilukurssin sisältö. Suluissa on aina päälukuihin käytetty opetusaikea. Luonnontieteen historia on aina upotettu päälukuun, vaikka selostuksessa teemat on erotettu muusta opetuksessa. Niinpä todellisuudessa luonnontieteen historian

opetus tapahtui useimmiten lomittain muiden teemojen kanssa. Alaviitteissä viitataan käytettyihin tieteenhistorian yleisteksteihin ja arvioidaan niiden sisällön sopivuutta kurssin materiaalliksi arvioiden. Koska kurssi oli valmisteltu ennen 2006, niin kurssimateriaalin valmistelussa käytettiin kirjallisuutta ajalta ennen vuotta 2006.

Oppikirja:

Oppikirjana käytettiin Otavan Forum 2, Eurooppalainen ihminen 2004.

Forum, Eurooppalaisen ihminen
(tieteenhistoriallisten teemojen otsikot kursiivilla)

Oppikirja rytmitti luonnontieteen historian opetusta, joka sijoitettiin aina oppikirjan sisältöjen mukaiseen kohtaan. Opetusintervention erotettu aina kursiivilla.

JOHDANTO

– Galilei tuomiolla

ANTIIKIN IHMINEN (5h)

Kreikan uskonto ja taide
Antiikin itäiset juuret
Kreikkalainen jumalmaailma
Uskonnolliset juhlat hellenien yhdistäjinä
Kreikan klassinen taide
Antiikin demokratia – soutajiakin on kuultava
Ateena demokratian kehto

Tietoon perustuvan maailmankuvan synty
Filosofia – pyrkimys todelliseen tietoon
Järjen jättiläiset: Sokrates, Platon ja Aristoteles, Hellenismi ja antiikin tiede

Huvittelevat ja käytännölliset roomalaiset
Rooman kulttuurin perusta
Roomalaisten vapaa-aika
Käytännölliset roomalaiset
Kristinuskon voitto

Antiikin tieteen historian teemat (3h)

Antiikin luonnontieteen historia saatiin upotettua Platonin ja Aristoteleen filosofioiden opetukseen.⁶⁶⁰ Antiikin ja keskiajan opettamista leimasi tietty epähistoriallisuus (presentismi), koska antiikista ja keskiajasta pyrittiin antamaan historiallisia aineksia, jotka tulisivat käyttöön tieteellisten vallankumouksien opetuksessa: ensimmäisessä, suuressa vallankumouksessa ja Darwinin vallankumouksessa (vrt. kronologia lukuun). Tämä oli historiallinen virhe, mutta

⁶⁶⁰ Olivia Lombardilta löytyy opetussovellus aristoteelisesta maailmankuvasta luonnontieteeseen, Aristotle, Physics in the Context of Teaching: A Historical-Philosophical Approach, Science and Education 1999.

kuitenkin opetuksellisesti perusteltu menettely, sillä näin tieteen vallankumouksen ”pitkät juuret tulevat esiin” (erityisen pitkinä ne esitetään kirjoissa *S.F. Mason, Pyenson, Lewis and Susan Sheets-Pyenson, Ede & Cormack* ja *McClellan and Horn*)⁶⁶¹. Tieteenhistorian osalta käsittely on pakostakin vajavainen, koska kurssisisällöt repivät tämän tieteen varhaisvaiheen kahtia. *Teknologian historia* on sisällytetty lukion historian ensimmäiseen kurssiin.

Opetettavissa teemoissa painotettiin tulevia tarpeita varten seuraavia asioista:

– myyttisen ja rationaalisen selittämisen välinen ero, *kausaalisuus*-käsite laajasti selitettynä.
– *platonilainen ja aristoteelinen* juonne tieteessä, aristoteelinen *selitysjärjestelmä*: painotetaan kahden perinteen syntyä,

1. luonnontieteiden *kausaaliselitys* (sovellutus paikalliseen liikkeeseen),

2. ”*essentialismi*” – johtaa taksonomioiden syntyyn

Tässä kohtaa haluttiin jo viitata pitkään linjaan: 1600-luvun luonnonfilosofiaan ja *Linnén järjestelmään* (sovellutus: suuri olevaisen ketju (the great chain of being), täyteysperiaate (plenitude) jne. Biologian historian kontekstuaalisuuden pohjana käytettiin *Peter Bowlerin* (1989 ja 1992) kirjoja⁶⁶². Tälle presentistiselle painotukselle oli paljon käyttöä myöhemmässä opetuksessa.

– *ptolemaiolainen järjestelmä* – sen pitkät juuret, ”ilmiöiden pelastamisen merkitys”, taas pitempi linja kertomalla arabialaisten parannukset järjestelmän geometrisiin yksityiskohtiin.

⁶⁶³ Opetuksessa korostettiin *Almagestin* merkitystä astronomian perinteen yhteisenä tutki-

⁶⁶¹ S.F. Masonin 1956 tieteen historian yleisteos ”Main Currents of Scientific Thought vuodelta 1956 on hyvä standarditeos luonnontieteen historian kehitykselle. Kirjassa on annettu perusinternalistinen tulkinta luonnontieteen historian kehityksestä Egyptistä aina suhteellisuusteoriaan ja kvanttimekaniikkaan. Vaikka kirja on vanha, niin se pyrkii tasapainoon tieteen ja tekniikan välisessä suhteessa, mikä on 1950-luvun kirjalle edistyksellistä. Lisäksi uutuuksena, Joseph Needhamin vaikutuksesta, käsitellään kiinalaista tiedettä, vaikka kirjan pääteema on valistuksen suuri edistyskertomus tieteen ja tekniikan voitokulusta länsimaisessa kulttuurissa. McClellanin and Hornin kirjassa ammattitutkijat asettavat tavoitteekseen antaa tavallisille lukijoille yleiskuvan (käyttää termiä ”big picture”) tieteen ja tekniikan historian kehityksestä (vii). Kirjan nimi kertoo kirjan yleisluonteen. Se haluaa ylittää tieteen ja tekniikan välisen aatteellisen kuilun ja tässä tehtävässä huolellisesti kirjoitettu luonnontieteen yleishistoria toimii mainiona lähtökohtana. (s. 2). Kirjoittajien lähtökohta vastaa nykyluonnon tulkintoja. Historian oppikirjojen olisi päästävä eroon koiräläisestä juuttumasta ja ymmärrettävä käytännön ja teorian vuorovaikutus eri historian aikoina tieteessä. Kirja korostaa tieteen pitkiä juuria. Lähtökohta on jo kivikaudessa ja ihmislajin kehittämissä mentaalisissa ja käytännöllisissä tekniikoista, joiden avulla ihmisyhteisöt selvisivät.

– tieteen alku levitetään myös maantieteellisesti laajaksi matoksi. On vaikea enää puhua länsimaisesta tieteestä, kun sen juuret ulottuvat: Kiinaan, Intiaan, Amerikkaan, jne.

– Islamin tiede ja Kiinan tiede (ja tekniikka) esitellään niiden omilla ehdoilla ja hyvin.

– luku, miksi tieteen valankumousta ei tapahtunut Kiinassa on hivenen Eurooppa keskeinen, mutta valaisee Euroopan tieteen vallankumouksen erityispiirteitä (s.137–140)

A History in Science and Society: From Philosophy to Utility (Ede & Cormack, 2002) kertoo taas valistuksen suuren tieteen tarinan ja yhdistää siihen sosiaalishistoriaa ja tekniikan historiaa. Tieteen vallankumoukset juuret esitellään kulttuurillisesti laajasti (Lähi-Itä, arabit jne.)

⁶⁶² ”Biologian” kontekstuaalisen tieteen historian käsittelyn helmi on Peter Bowlerin *Evolution, The History of Idea* 1989. Käyttökelpoinen teos on Bowlerin *Ympäristötieteen historia* (suom. Kimmo Pietiläinen, 1992). Bowlerin kirjasta *Evolution* 1989 löytyy käsittekarttoja, joilla voi hyvin havainnollistaa laji-käsitteen kehittymistä.

⁶⁶³ Erityinen paino oli visualisoinnissa. Opetuksessa käytetty opetusideoita powerpoint-kuvia I. B. Cohenin *The Birth of Science* kirjasta ja kirjasta *Dewittin Worldviews*. Lisäksi piirrettiin taululle Marsin retrograde -liike, yksinkertaisia matemaattisia ratakuvauksia, kuten episykli ja ekvantti.

musohjelmalla (*Imre Lakatosin tapaan*)⁶⁶⁴.

– oppikirjoissa keksinnöt nimetään kansakuntien nimiin, joten syntyy harha, että antiikin innovaatiot ovat ”kreikkalaisen” kansakunnan nerouden tuotteita. ”Kansallisuus” ja ”rotu” (myöhemmin kysytään myös, entä sukupuoli?) ovat toissijaisia tieteen kehityksessä. Näin pyritään hälventämään kirjoissa käytettyä *kansallisuusaatteen vääristymää*, korostamalla, että tiedemiehet kuuluvat universaaliin tiedeyhteisöön.

Antiikin opetukseen kehitettiin *leikkimielinen sovellutus lääketieteestä*, jonka kautta opeteltiin teorian erilaisia piirteitä ja sovelluksia: Hippokrateen *nestetasapainoteoria*, (teoria neljästä elon nesteestä -pohdinta selityksen tehokkuudesta, pohja oli *Kronos 2* kirjasta ja Heikki Mikkelin (toim.) kirjasta *Renessanssin tiede* 2004).⁶⁶⁵ Astrologian yhteydessä käytiin opetuskeskustelu nykyajan myyttiuskoista ja pohdittiin rajaa tieteen ja pseudotieteen eroista (Popperin käsitykset taustalla), väärin teorioiden merkitystä, mietittiin yksilön tiedon ja yhteisön tiedon välistä suhdetta sekä ”väärän teorian” omakohtaisen empiirisen testaamisen vaikeutta, sekä yritetään valaista *theory laden*-käsitettä. Tässä opetuksen kohdassa luotiin pitkä linja luonnontieteen historiasta aina uuden ajan alkuun.

KESKIAIKA (5h)

Kristillinen keskiaika
Välimeren alue antiikin jälkeen
Kristillinen yhtenäiskulttuuri
Katolinen kirkko vallankäyttäjänä
Taide kirkon palveluksessa
Luostarilaitos – kristillisyyttä ja kulttuurivaikutteita

Keskiajan ihmisen maailma
Keskiajan ihmisen maailmankuva
Keskiajan ihmisen elämäntapa
Karnevaalit kansan ja yläluokan yhdistäjänä
Sotaa, rakkautta ja ”ritarillisuutta”
Kohti uutta aikaa
Yliopistojen synty
Keskiajan tiede
Oliko keskiaika pimeä?
Keskiaika kiehtoo

⁶⁶⁴ I. B. Cohenilta *The Birth of Science* (alunperin 1960, uusittu painos 1987) kirjasta ja myös kirjasta Michael De-wittin *Worldviews* (2003) . Ptolemaioksen *Almagest* esiteltiin tunnilla perusteellisesti, koska se on ”vaeltajaangel-man” matemaattisena (geometrisenä) formulointina internalistisen tieteen kulmakivi, joka on kaikissa internalistisissa luonnontieteen historian oppikirjoissa tärkeä lähtökohta tieteen syntyyn. Sinällään *Almagest* on tekninen, yksinkertaistuksia löytyy kuitenkin hyvistä luonnontieteen historian internalistisissa tulkinnoista.

⁶⁶⁵ Tämä oli kevennysosa, koska useimmat oppilaat ovat kiinnostuneita horoskoopeistaan ja omasta nestetasapaino persoonallisuustypologiastaan esim. koleerikot eli siniveriset aateliset, olivat hyvin ylpeitä piirteistään. Flegmaatit tunnistivat taas oman velttoutensa ja taipumuksensa juopotteluun. Oppilaille jaettiin nestetasapaino ja horoskooppi-kartat kartat, joista nämä tiedot selvitettiin. Nestetasapaino-oppi liitettiin oppiin makrokosmoksen vaikutukseen mikrokosmukseen eli astrologiaan, ja keskiajalla syntyneeseen sääty-yhteiskuntaan. Katsottiin oppilaiden nestetasa-paino (ja sääty) tähtimerkkien mukaan.

Keskiajan tieteenhistorian sisältö (2h)

Lääketieteestä jatkettiin teemaa opettamalla Galenoksen merkitys lääketieteen historiassa ja antiikin *anatomian puutteellinen praxis*, vajavaiset vivisektiot, sekä myöhäiskeskiajan osittainen vivisektiokiellon purku. Anatomiaa päästiin käsittelemään luonnontieteen historiaa uuden ajan alun *taiteen ja tieteen liittona*. Taiteilijat olivat kiinnostuneita ihmisten ja eläinten anatomista. Maalauksissa näkyy vivisektioiden harrastuksen tuoma naturalistinen tarkkuus. Käytännön sovelluksen esiteltiin *Vesaliuksen* teosta *De Humani Fabrica* 1540 ja sen anatomista kuvitusta. Anatomiaa saatiin luotua pitkä linja Harveyhin.⁶⁶⁶

Keskiajan luonnontieteen historiasta käsiteltiin Tuomas Akvinolainen ja *skolastiikan synteesi*; samalla kerrattiin aristoteelisen maailmankuvan perusteet ja pohdittiin raamatun ja Aristoteleen käsitysten välisiä ristiriitoja. Käytiin läpi tärkeimmät muutokset, jotka keskiaikaiset aristoteelikot tekivät aristoteelisen-ptolemaiolaiseen -selitysjärjestelmään.

Lisäksi opetettiin keskiaikaisen tieteen *institutionaaliset perusteet*: yliopistot, niiden tehtävä (yksinkertainen historiallinen väärinkäsitys oli oikaistava: yliopisto *ei* keskiajalla ollut tieteellinen *tutkimusyliopisto*). Opetettiin katolisen kirkon munkistot: *benediktiinit*, *dominikaanit*, *fransiskaanit* ja jatkona *jesuiitat* sekä näiden järjestöjen erityissuhteet uskoon ja tieteeseen. *Dominikaanit ja jesuiitat saatiin käyttöön* myöhemmin tulevan Galilei-oikeudenkäynnin selityksessä.

Keskiajan tiedettä käsiteltiin presentistisesti ja luotiin perustaa luonnontieteen historian eräällä perusongelmalle Duhem -teesille: syntyikö tieteen vallankumous keskiaikana. Näin jo *keskiajan* opetuksessa viitataan Kopernikuksen, Brunoon, Descartesiin ja Galileihin. Vain kerran yritettiin opettaa keskiajan aatemaailmaan sisältäpäin, sen omilla ehdoilla, kun käsiteltiin uskon ja tiedon kompleksista suhdetta.⁶⁶⁷

UUDEN AJAN MURROS (7h)

Renessanssi

Renessanssi – paluu antiikkiin

Ihanteeksi yksilöllinen ja oppinut ihminen

Ei vatsanpuhallusta pöydässä – uudet käytöstavat

Renessanssin taide

Renessanssi – länsimaisen kulttuurin loistokausi

⁶⁶⁶ Lääketieteen historia sisältää mielenkiintoisia yhteiskunnallisia teemoja, joita olisi käsiteltävä erityisesti historian ensimmäisessä kurssissa: normaalin määräytyminen, mielisairaus, sairaalalaitoksen synty, kulkutaudit ja väestökehitys, ravinto ja terveys jne. Hyviä kartoituksia teemoista on Roy *Porterin* toimittama *The Cambridge History of Medicine* 2004 ja Roy *Porterin* kompakti, *Blood & Guts, A Short History of Medicine* (2002). Tässä jaossa näkyy luonnontieteen historian keinotekoinen perinne, joka on hyvin voimakkaasti keskittynyt fysiikkaan (koyrélainen idealistinen perinne) ja sitten biologiaan. Käytännöllinen lääketiede jäi teknologian puolelle.

⁶⁶⁷ Opetuksessa käytettiin dokumenttia Summa Theologiaesta, Tuomas Akvinolaisen Jumalan olemassaolon neljä todistusta. Dokumentti avattiin vain ensimmäisellä kokeilukurssilla. Toisella kurssilla opetusharjoittelijat opettivat keskiajan, eikä heidän opetussuunnitelmansa sisältänyt dokumenttia. Tällä dokumentilla pyrittiin konkretisoimaan erilaisia selitysjärjestelmiä ja sitä kuinka myös ”tiede” perustuu verbaalisiin todisteluihin ja että tiede sisältää myös retoriikalle tyypillisiä piirteitä (esim. suostuttelua). Pyritään näyttämään skolastisen selitysjärjestelmän painopiste oli teologiassa ja kuinka syrjäinen asema paikallisella liikkeellä oli. Menettelyllä pyrittiin valaisemaan ongelmaa: kirkko tieteen ylläpitäjänä sekä myös tiedon rajoittajana.

Taistelu uskosta ja vallasta
Uskonpuhdistuksen puolesta ja vastaan
”Kenen maa, sen uskonto”
Vastauskonpuhdistuksen vaikutukset eurooppalaiseen kulttuuriin
Itsevaltiut – hallitsijan rajaton valta
Barokki – vallan kulissit

Tiedon vallankumous ja uusi maailmankuva
Kirjapainotaito – painettu sana mullistaa tiedonkulu
Tavoitteeksi uuden tiedon etsintä
Uusi luonnontieteellinen maailmankuva
Kamppailu oikeasta tiedosta
Noitavainot
Käsitys eurooppalaisuudesta muotoutuu

*Tieteen vallankumous (3h)*⁶⁶⁸

Näissä luvuissa käsiteltiin kurssin luonnontieteen historian *internalistista sydäntä*, modernia käsitystä tieteen vallankumouksesta. Käyttöön otettiin internalismin *koyrélainen narratiivi*: tieteen muutos pyritään opettamaan historiallisena *prosessina*. Kurssilla käytettiin E.A. Burttilta, Alexander Koyréltä, Herbert Butterfieldiltä ja Thomas Kuhnilta saatua käsitteellisen *murroksen dramatisoinnin* ideaa eli opetettiin tyypillistä historiallista HPS -käsitehistoriaa.

Opetusidean lähtökohtana oli *aristoteelis-ptolemaiolainen maailmankuva*, jonka pääpiirteet kerrattiin ja siinä myöhemmin ilmenevät ilmenevät *säröt* (vrt. Kuhnilta lainattu käsite anomalia, havainnosta, joka ei sovi valitsevaan tieteelliseen maailmankuvaan, on implisiittisesti taustalla). Tunnilla käytiin läpi pääargumentit maan liikkumista vastaan, koska pyrittiin korostamaan tiedettä *dialogina* ja *prosessina*, jossa on sekä teorianmuodostuksessa sekä empiriassa jatkuvuutta.⁶⁶⁹ Opetettiin Kopernikus, Brahe ja Galilein luonnontieteen historiallinen merkitys. Korostettiin, ettei teoriaa, maailmankuvaa hylätä, vaan kehitetään erilaisia korjaavia *apuseilityksiä* (Duhem – Quine- teesi), joista maailmanjärjestyskiistassa *brahelainen* järjestelmä lupaavin.

Opetusidea oli koyrélainen tiedeyhteisön ”makrotason” maailmankuvan muutos (Asetelma 1). Taulukaavion avulla opetettiin kahdensadan vuoden aatehistoriallinen kehitys tiivistettynä ja ero dramatisoiden esitettynä. Tällöin ei evoluutio näy, vaan tiivistys johtaa dramaattiseen katkokseen eli täysin erilaisiin tieteellisiin maailmankuviin Tämä maailmankuvallinen katkos puhutteli Thomas Kuhnia ja oli hänen teoksensa taustalla, ja se puhuttelee myös nykyopiskelijoita. Dramatiikkaa pyrittiin saamaan kertomalla Newtonin varhaisesta opiskelusta Cambridgessä ja hänen aristoteelisesta lukujärjestyksestään.

⁶⁶⁸ Toisella opetuskerralla lukuun panostettiin vielä yksi tunti opettamalla Dialogin tarina.

⁶⁶⁹ Helge Kragh, Science and Education 1998, korostaa astronomiassa havaintojen pysyvyyttä. Vaikka käsitys havaintojen teoriapitoisuudesta pitää paikkansa, niin tähtitieteessä, jossa vallankumous syntyi, Helge Kraghin (1998) mukaan, samoja havaintoja käytettiin yli paradigmojen (s.237). Kuhnin vallankumous ymmärretään usein epähistoriallisesti, täydellisenä katkoksenä, tieteen kehityksessä

Asetelma 1. Koyrélainen opetusdramatisointi

<i>Vanha, aristoteelinen järjestelmä</i>	<i>Uusi Principian takana oleva järjestelmä</i>
suljettu sfääripallo	ääretön avaruus
laadullinen kuvaus	kvantitatiivinen kuvaus
sylogistinen logiikka	funktiosuhde
suora havainto	hallitut kokeet
ptolemaiolaisuus	vahvat idealisaatiot
maakeskeinen	aurinkokeskeinen malli
organismi	mekanismi
hierarkia	

Nämä makrotason internalistiset muutokset voidaan opettaa hyvin konkreettisesti ja visuaalisesti.⁶⁷⁰

Eksternalistiset teemat

Kurssilla käytettiin Isaac Newtonin henkilöhistoriaa esimerkkinä esoteeristen virtausten vaikutuksesta. Douglas Allchinin mukaan vääriä teorioita on opetettava, koska siten voidaan opettaa kyseisen ajan tieteen rationaalisuusperustaa laajasti. Opetuksessa opiskelija vietiin paikalliselle 1600-luvun tasolle tutustumalla Newtonin alkemialliseen laboratorioon. Eksternalismin opetusidea oli kuinka, Dobbsia (1978 ja 1990) mukaillen, Newton oli *Janus - kasvoinen tutkija*, joka oli kahden historiallisen maailman rajalla. Hän katsoi menneisyyteen, jota opetuksessa edustavat Isaac Newtonin alkemiaharrastukset. Toisaalta *Principia* (1687) loi perustan tutkimusohjelmalle, josta tuli tieteellisen tutkimuksen malli. Opetuksessa pyrittiin antamaan vastauksia seuraaviin kysymyksiin: Mitä Newton oikein tutkimuksissaan etsi? Mihin alkemiassa yleensä pyrittiin ja kuinka yleistä alkemia oli? Käsiteltiin myös Newtonin uskonnollista suuntausta (areiolaaisuutta). Edelleen pohdittiin, mitä Newtonin omaperäinen uskonnollinen projekti merkitsi hänen tieteellisille tutkimuksilleen sekä kuinka Newton joutui salaamaan uskonnolliset mielipiteensä rangaistuksen pelossa.⁶⁷¹

Esoteerisen osion tehtävänä oli opettaa yksittäisen tutkijan ajatusmaailmaa esimerkkinä 1600-luvun tutkimusyhteisön yhteisistä, sosiaalisista erityispiirteistä. Samalla kartoitettiin myös muiden tutkijoiden, kuten Kellerin, Boolean, Leibnizin ja Pascalin, ajatusmaailmaa. Myös heidän ajattelussaan myllersivät mystis-teologiset pohjavirratt.

Uskonnollisella teemalla taas pyrittiin antamaan uskonnolle *henkilökohtainen* merkitys. Tarkoitus oli tähdentää, että vaikka tiede sinällään kehittyi ”rationaaliseen” suuntaan, se ei ollut koko yhteiskuntaa tai tutkijan ajattelua totaalisesti läpäisevä trendi. Niinpä Kopernikusta,

⁶⁷⁰ Tässä kohtaa otetaan selkeä kanta realismin puolesta: Newtonin mekaniikka verifioitui 1700-luvun havaintojen perusteella. Tässä mielessä newtonismi oli uudenlaista tiedettä, ei siis mikään akateeminen harjoitelma.

⁶⁷¹ Dobbsin Newton tulkinnat ovat hyvin arvostettuja tiedemaailmassa ja useimmat Newton tutkijat ovat sitä mieltä, että Newtonin tutkimusprojekti oli kokonaisvaltainen ja että olisi historian vääristelyä leikata siitä metafysiista ja teologista osaa pois. Tämä metafyyssinen osa on sisällytetty konstruktivistien Big Picture esityksiin, mm. Dear (2006) ja Shapin (1996). Toisaalta sekä *Principia* (1687), että *Optics* (1704) aiheuttivat osaltaan esoteeristen harrastusten hiipumisen 1700-luvulla. Niitä tulkittiin 1700-luvulla niin, että niissä Newton kielsi metafyyssisen spekulatiivisen tieteessä. Kokeilukurssin opiskelijoita kiinnosti kovasti Newtonin ”omituisset” harrastukset ja he yllättyivät näiden harrastusten yleisyydestä tieteen vallankumouksen aikoihin.

Galileita tai Newtonia ei voida pitää fyysikkoina, vaan he liittyivät tutkijoina ajan erikoislaatuiseen rationaalisuusperustaan. Tästä opetusessioista opiskelijat saivat sisältöä käsitteelle *luonnonfilosofi*.⁶⁷²

Tiedeyhteisön uusien piirteiden kuvaus tapahtui myös *Principian* ja *Galilein Dialogin* tarinoiden kautta. Mertonin *prioriteettikiistojen* kautta opetettiin tieteen ehtojen muuttuminen. 1600-luvulla syntyi tieteelle uudet markkinat ja keksinnöistä oltiin valmiita maksamaan. Kilpailu synnytti katkeria prioriteettikiistoja, joihin epäluuloinen Isaac Newton osallistui (kerrottiin henkilökohtaiset ja katkerat kiistat Descartesin, Hooken, Leibnizin ja myöhemmin karteesioilaisen koulukunnan kanssa).

Tiedon verkostoituminen ja tiedon jakaminen synnyttivät halun julkaista nopeasti keksinnöt, koska monet tutkijat työskentelivät saman ongelman kimpussa. Edelleen tieteestä käsiteltiin uuden tieteen yhteiskunnallisten ehtojen muuttumista: kirjapainotaito, uusi tekniikka, löytöretket, tieteellisen patronaasin synty, sekä uudet tiedeseurat.

Isaac Newton on luonnollinen siirtymä teemaan, joka oli eräs pedagogisista syistä valittu ”nerous tieteessä”. Tämä teema oli kehitetty Helsingin normaalilyseon tiedekurssilla ja siellä sitä oli laajasti testattu. Se oli osoittautunut onnistuneeksi. Nyt se käsiteltiin typistettynä ja hajotettuna versiona. Nerous määritettiin internalistisesti, koirélaisettain uuden synteessin luomisena (newtonistisen, myöhemmin kurssissa darwinistisen) ja tieteellisen maailmankuvan kokoamisena. Eksternalistisesti tiedemieskäsite liitettiin *yhteiskuntaluokkiin, sosiaalisiin ehtoihin, maantieteeseen ja sukupuoleen*.

1600 – luvun tieteen avainteos, Isaac Newtonin *Principia*, sai perusteellisen tarinan. Tunnilla käsiteltiin *Principian* omalaatuinen syntytarina, omaperäinen rakenne, kirjan sisältämä matematiikka, kirjan leviäminen ja vastaanotto. *Principia* liitettiin tieteen yleiseen muutokseen 1600-luvulla. Samassa yhteydessä käsiteltiin tieteen historian tärkein yksittäinen teema: *miksi tiede muuttui lopullisesti Newtonin synteessin jälkeen?*

VALISTUS – KOHTI UUTTA YHTEISKUNTAA (3h)

Yhteiskunta kaipaa muutosta
Valistus ja yhteiskunnan epäkohdat
Kelvottoman hallitsija saa vaihtaa
Ranskalaiset valistusfilosofit
Taistelu sensuuria ja tietämättömyyttä vastaan

Alamaisia ja kansalaisia
Yhdysvaltojen itsenäistyminen
Vapaus, veljeys ja tasa-arvo

Valistusajan tiede ja taide
Hovikulttuuria ja politiikkaa
Luonnontiede ja kiinnostus muihin kansoihin

⁶⁷² 1600-luvun uuden tieteen harrastajat eivät olleet moderneja fyysikkoja tai biologeja, vaan luonnonfilosofeja ja uskonnolla oli tässä filosofiassa aina keskeinen sija. On merkille pantavaa, ettei Newton julkaissut mitään laajoista esoteerisista tutkimuksistaan ja *Principia* näyttäytyy täysin matemaattisena ja tieteellisenä tutkimuksena. Tarkka lukija löytää kuitenkin viittauksia Newtonin esoteerisiin tutkimuksiin, eteenkin voima käsitteen kosmologisena sovelluksena.

Valistuksen merkitys meille
Valistus, orjuus ja rasismi

Valistuksen tiede (erityisesti valistuksentieteeseen käytettiin n. 1h)

Valistusluku alkoi luontevasti yhdistämällä valistus sen newtonistiseen perustaansa. Valistus opetettiin näin kietoutuneena valistusfilosofiaan. Tunnilla opetettiin newtonismin synty, Voltaire newtonismin propagandistina sekä miten newtonismia sovellettiin ja miten se tutkimusohjelmanä verifioitui. Newtonin *Principiasta* johdettiin vuorovesi-ilmiön selitys ja maan muoto⁶⁷³, planeettojen konstellatioiden laskeminen sekä Halley'n komeetan saapumisen ennustaminen. Tämä perusteella täsmentyi ero uuden tieteen peruskäsitteiden vanhaan järjestelmään: Aristoteleen ja Newtonin voima, liike, sekä avaruuskäsitteiden erot.

Tunnilla selitettiin Raimo Lehen luonnehdinta uudelle tieteelle *kun leikki muuttuu todeksi*. Miksi uusi tiede oli täysin erilaista kuin vanha aristoteelinen (oliko aristoteelisuus tiedettä ollenkaan)? Kuhnin käsite ”normaalitiede” tulee käsitellyksi 1700-luvun Newtonin mekaniikan kehityksen ja leviämisen kautta. Kokonaiskuva muistuttaa Imre Lakatosilta saatua käsitettä ”tutkimusohjelma” synty.

Valistusluvussa päästiin käsittelemään teemaa naiset ja tiede. Newtonismin propagandistina mannermaalla toimi Voltaire. Voltairen ja Marquise du Chatelet' n (1706–1749) suhteen kautta käsitellään teemaa: miksi naistiedemiehiä ei ole historiassa? Du Chatelet oli Ranskan nerokas matemaatikko, Ranskan lahjakkain klassisen mekaniikan tutkija. Tiedeyhteisö kuitenkin hylkäsi hänet ja tieteenhistoria unohti. Näin saadaan kosketus feministiseen tieteenhistorian tutkimustraditioon. Samassa yhteydessä käsiteltiin luonnontiedettä ja salonkikulttuuria. Esimerkkeinä olivat lyhyt kertomus Voltairen ja Madame de Chatelet' n suhteesta ja du Chatelet' n ”tavallisesta tarinasta”, tieteellisestä unohduksesta ja lapsivuodekuolemasta, sekä lisäksi on vielä kertomus madame Pompadourin suhteesta valistukseen ja luonnontieteeseen.⁶⁷⁴

1700-luvun keskeinen teema tieteen historian kannalta oli *kvantitatiivisuuden räjähdys*, vaikka siihen ei voitu käyttää paljon aikaa. Opetuksessa palattiin Aristoteleen yhteydessä avattuun taksonomian ja olemuksen (lajien) teemaan. Carl von Linné kehitti uuden kasvien lisääntymisorganeihin perustuvan taksonomian ja siten uudisti Aristoteleen järjestelmää. Linnén oppilaat keräsivät lajeja ympäri maailmaa. Tarkoituksena oli täyttää ”luonnon tiedon kartta” ja toteuttaa deistinen unelma Luojan suuren kirjan avaamisesta. Luonnon kirjan lukeminen oli

⁶⁷³ Maupertuisin Lapin retki kerrottiin tarinan muodossa. Maupertuisin mittausmatkan kertomuksen löytää esim. T.J. Kukkamäen artikkelista ”Maapallon muodon selvittelyä” (toim. Lehti, Rydman, Markkanen 1987). Voltairen ja Madame Châtelén suhteesta David Bodanikselta, *The Passionate Minds, The Great Scientific Affair* (2006).

⁶⁷⁴ Gabriel de Breuteuil eli markiisitar du Châtelet on tieteen historian feministisen tulkinnan mukainen tarina. Hän oli lähtöisin ylhäisestä suvusta ja hänen isänsä vastasi Ranskan kuninkaallisen hovin protokollasta. Markiisitar oli käytännössä kolmen lapsen yksinhuoltaja, koska aviomies oli jatkuvasti sotaretkillä. Markiisitar aloitti vuonna 1733 yhteistyön kuuluisan valistuskirjailijan Jean Jacques Voltairen kanssa. Heille kehittyi kolme hedelmällistä kulttuurista painopistealuetta: filosofia, tiede ja rakkaus. Markiisitar du Châtelet pääsi Voltairen kautta tutustumaan ajan tieteen kuuluisuuksiin ja samalla uuden filosofian tieteellisiin perustoihin. Markiisi oli Ranskan syvälinnin Principian asiantuntija ja toimi Voltairen neuvonantajana tiedettä koskeissa kysymyksissä. Voltaire, joka oli newtonismin tärkein levittäjä Euroopassa, oli itsekäs ihminen eikä koskaan kertonut oman tiedetietämyksensä todellista lähdettä, markiisitar du Châteletä. Naiset ovat olleet tieteessä aliedustettuja ja jatkuvan rakenteellisen syrjinnän kohteena. Luonnontieteen historian eräs teema onkin *sukupuolisyrjintä*. Klassikkotapauksia löytyy artikkelista *Women in Science*, Pnina G. Air-Am, *Oxford Companion to Modern Science*, toim. Heilbron 2003, s. 829.

yhä arvokas tapa lähestyä luojaa kuin raamatun lukeminen. Luojan viisaus ja kaikkivoipaisuus paljastuisi luonnon kirjaa tutkiessa. 1700-luvulla paljastuvat essentialismin ja käsitteen ”laji” vaikeudet ja esitettiin ensimmäiset spekulatiot *evoluution mahdollisuudesta* lajikehityksessä. Hyödyn aikakauden käytännön eläin- ja kasvijalostuksessa tuotetaankin jo uusia, keinotekoisia ”lajeja”. Luonnonhistoria oli teoreettisesti kriisissä, mutta toisaalta sillä oli vakiintunut institutionaalinen asema ja se oli yhä suositumpaa kuin koskaan aatelin ja porvariston keskuudessa.

AATTEIDEN VUOSISATA (6h)

Aatteet muuttavat yhteiskuntaa

Konservatismi – muutos on pahasta

Liberalismi – vapautta vaatien

Nationalismi – kansojen vapauden puolesta 1800-luvun nationalistinen Eurooppa

Utopioista tieteelliseksi sosialismiksi – työväenlaute muotoutuu

Ovatko 1800-luvun aatteet kuolleet? Sosialismi muuttuu politiikaksi

Klassikkojen vuosisata taiteissa ja tieteissä

Taiteiden kulta-aika

Uusklassismi ja romantiikka

Realismi – arjen kuvaus

Evoluution tulos vai luojan luoma?

Tieteiden voittokulku

Porvaristo vuosisata

Porvariston elämäntapa

Viktoriaaninen Englanti – säädyllisyyden aika

Kansa koulun penkillä

Modernin ajan kynnyksellä – uusi länsimainen ihminen

Uudet vallankumoukset ja 1800-luku (tieteeseen käytettiin 2h)

Antoine Lavoisier ja kemian vallankumous käsiteltiin vinjettitasolla, koska kemian vallankumousta tällä kertaa ei painotettu. Vinjettitarinassa Lavoisier liitettiin Ranskan vallankumouseen ja sen valistuspuhjaan ja erikoislauteiseen ”järjen tyranniaan” (Lavoisierin mestaus otettiin ”kevennykseksi”).

Varsinainen 1800-luvun tieteen käsittely, Darwinin vallankumous aloitettiin jo 1700-luvun sisältä ja selitettiin evoluutioidean synty ja leviäminen. Opetuksessa mainittiin evoluutiota edeltävät keksinnöt: astronomian nebula-teoria⁶⁷⁵, geologian synnyn uudet ideat (maan pinnan

⁶⁷⁵ Tieteen vallankumouksen jälkeen kolme tutkijaa ja luonnonfilosofia kehittivät itsenäisesti aurinkokunnan *evoluutioteoriaa*. Nämä olivat: Georges Louis Leclerc Buffon (1707–1788), Immanuel Kant (1724–1804) ja Pierre Simon Laplace (1749–1829). Buffoniin vaikutti suuresti seikka, että kaikki planeetat kiersivät samaan suuntaan auringon ympäri ja ne olivat melko tarkasti samassa tasossa. Hän oletti, että auringon läheltä mennyt komeetta oli napannut materiapartikkeleja, joista muodostui planeettoja. Kant ja Laplace olettivat auringon ja planeettojen saaneen alun tiivistyvistä, pyörivästä pölypilvestä, joista aluksi muodostui sulia materiapalloja, joihin muodostui jäähtyessään kova kuori. Geologia, joka tieteenalana oli alkanut irtaantua luonnonfilosofiasta ja kehittyä omaksi tieteenalakseen näytti tukevan tätä teoriaa. Tämä hypoteesi tunnetaan nimellä *nebular-hypoteesi*. Suurilla teleskoopeilla nähtiinkin suuria muodostelmia, jotka olivat ikään kuin muotoutumassa olevia aurinkokuntia. Havaittiin myös lukematon

kerrostuneisuuden käyttö maan iän määrittely perustana ja fossiilien mysteeristä), sekä Lyellin esittämä geologian universaalisuus-teesi.

Darwin ja internalismi

Opetusideana on nuoren Darwinin, deistin, luonnonhistorioitsijan vuosikymmeniä kestävä vaikea, henkilökohtainen muutos evoluution kannattajaksi ja tinkimättömäksi tiedemieheksi, jonka elävä yhteys empiriaan johti uuteen mullistavaan teoriaan lajien synnystä ja niiden kehityksestä. Tavoitteena oli kuvata tutkijan ”kokonaisvaltainen ajattelu”. Näin teologia otetaan mukaan (aivan kuten Newtonin tapauksessa areiolaisuus), ja tunnilla käsiteltiin nuoren Darwinin muutos deististä agnostikoksi.

Kun ajattelun *muutos tiivistetään taas koyrélaisittain*, silloin muutoksen radikaalius näkyy voimakkaana. Nämä makrotason internalistiset muutokset täytyy opettaa hyvin konkreettisesti ja visuaalisesti (Bowlerin *Evolution*-kirjassa paljon kaaviokuvia tähän). Erityisesti oli kiinnitettävä huomio seuraaviin tieteen historian seikkoihin:

– voimakas tieteellinen deismi oli ennemminkin Darwinin pelkona (Chambersin populaaritulkinta 1844 evoluutiosta oli saanut tyrmäävän vastaanoton) kuin varsinainen kristillisen kirkon reaktio.

– räjähtäen lisääntyneen tiedon uudelleen organisointi johti aluksi *Linnén* järjestelmän uudistuksiin, *geologian* syntyyn ja lopulta *evoluutioteoriaan*.

-opetuksen taulukaavio, toimi muistiinpanoina ja opetuksen selkärankana. Ensimmäinen rivi kertoo luonnonhistorian aatehistoriallisen *jatkuvuuden* Aristotelesta Darwiniin. Viisi alimmaista metafysisistä periaatetta kertoo nuoren linnéläisen, valistushenkisen luonnonhistorioitsijan aatteellisesta metamorfoosista, kuinka hän joutui luopumaan rakkaista luonnonhistorian lähtökohdistaan. Asetelmalla pyritään dramatisoimaan tapahtunutta aatteellista vallankumousta Darwinin ajattelussa ennen Lajien synnyn ilmestymistä.

joukko oman aurinkokuntamme kaltaisia muodostelmia ja heräsi kysymys älykkään elämän mahdollisuudesta maan ulkopuolella. Astronomian evoluutioteoria olikin ensimmäinen evoluutioteoria, joka sai tiedemiesten laajan hyväksynnän ja joka valmisti tietä toiselle suurelle evoluutioteorialle. (Brush 1988, Bowler 1989)

Asetelma 2. Luonnonhistorian häviäminen ja biologian synty.

400ekr.	1700	1800	1859
Aristoteles-----	Linne-----	Nuori Darwin-----	Evoluutioteoria
Essentialismi-----	jatkuva muutos		
Plenitude prinssiippi-----	ei merkitystä		
Suuri olevaisen ketju-----	haarautuva puu		
Luojan suunnitelman paljastaminen-----	sattumanvaraisuus		
Deismi-----	elämän tuhlaus		
Luonnonmukainen järjestelmä-----	jatkuva sopeutuminen		

Muunnettu *Bowlerilta*, *Evolution, The History of an Idea*, University of California Press, 1989

Eksternalismi

Molemmat case-tapaukset, Newton ja Darwin, soveltuvat myös STS-opetuksen kontekstualistiseen opetukseen. Tieteen vallankumouksen ymmärtäminen ilman *talouden muutosta, yhteiskunnan rakennemuutosta* ja *tiedeyhteisön syntyä* on mahdotonta. Evoluutioteorian käsitteytetydet viedään teknologian, yhteiskunnan ja talouden tasolle.⁶⁷⁶ Lukion historian kurssien rakenneongelma on, että STS -puoli opetetaan jo ensimmäisessä kurssissa. Näin konkreettisesti irroitetaan kulttuurinen ”aatehistoria” pois taloudellisesta perustastaan ja tuetaan koryläista, platonilaista aatehistoriallista tulkintaa.

Darwinin yhteydessä käsiteltiin *mertonilaista* keksimisen tupla- ja triplaproblematiikkaa. Se yhdistettiin tieteen ankaraan kilpailutilanteeseen, jota verrattiin analogiseen liberalistiseen *talouden kilpailuun*, siis ”publish or perish” -periaatteeseen. Periaatetta selvennettiin Walla-

⁶⁷⁶ Lewis Pyensonin and Susan Sheets-Pyensonin kirja *Servants of Nature*, 1999 on arvokas lähde eksternalisten piirteiden opetuksessa. Kirjassa on käyty systemaattisesti läpi eksternalistisia teemoja, joita luonnontieteen kehitykseen kuuluu. Kirja pyrkii irti Eurooppa-keskeisyydestä sisällyttämään kuvauksen piiriin ei-eurooppalaiset kulttuurit. Lewis Pyenson on ensimmäisenä tutkinut länsimaista tiedettä muiden kulttuurien kannalta (*Science and Imperialism*, Olby 1990). Mielenkiintoisia ja tarpeellisia teemoja kirjassa ovat: tarkkuuden ideologian synty ja kehitys, tilastollisen ajattelun synty ja leviäminen, tiede ja tappaminen, tiede Euroopan ulkopuolella, tiede ja uskonto. Kirja on sellainen, jota tarvitaan mielenkiintoisten eksternalististen teemojen avaamiseen opetuksessa. Nämä teemat eivät vain sovi Eurooppalaisen ihmisen luonnontieteen historialliseen pakkopaitaan.

cen Darwinille lähettämän evoluutioartikkelin kautta. Miten Darwin ja Wallace päätyivät samaan teoriaan eri puolilta maapalloa kootuilla empiirisellä aineistolla?

Käsiteltäviä teemoja olivat

- 1700-luvun tiedon kvantitatiivinen ”räjähdys” (esim. Peter Dear 2005, Frängsmyr 1990 ja Dear, 2006)
 - tieteen globalisoituminen: syntyvä siirtomaajärjestelmä, imperiumin laivasto ja kuninkaallinen postilaitos tekivät Darwinin Galapagos-retken ja teorian kehitysprosessin mahdollisiksi.
 - Darwin oli valtavan tietomäärän keskellä kuin lukki tietoverkkonsa keskellä. Tiede oli siis verkostoitunutta ja tiedon virta oli jo huomattavan nopeaa (Esim. Browne 2001). Evoluutio-teorian kehittämiseksi ei kirkko sinällään voinut, eikä edes halunnut asettaa rajoja.
 - Darwinin etuoikeutta sosiaalinen tausta. Darwin syntyi varakkaaseen porvarisperheeseen ja naimakaupan jälkeen varallisuus teki hänestä täysin riippumattoman tutkijan. Wallace tuli työväenluokasta ja joutui jatkuvasti kamppailemaan leivästä ja uransa puolesta.
 - imperiumi ja Beaglen matka, tiede oli osa imperialistista järjestelmää. Beaglen kartoitusmatkan perimmäinen tarkoitus oli sotilaallinen.
 - tiede ja viktoriaaninen yhteiskunta.
 - evoluutio ja uskonto laajemmin.
 - ”Tieteen harhapolut”-teemaa selitettiin lyhyesti kertomalla frenologiasta, kraniologiasta, rotuopeista, sosiaalidarvinismista, älykkyysmittauksista ja eugeniikasta (Stephen Jay Gouldin kirjasta *The Mismeasure of Man*, 1996⁶⁷⁷).
- Viimeinen tieteen teema jäi nopeaksi luennoksi. Käsiteltiin freudilaisuus eli kun länsimainen kulttuurin rationaalisuus usko horjuu: vietit ja alitajunta.

MASSOJEN AIKAKAUSI (2h)

Nykyaikaa etsimässä

Edistysuskon hiipuminen
Uuden ihanneihmisen myytti
Länsimainen demokratia

Matkustava ja urheileva moderni ihminen

Kaupunki ja konekulttuurin aika
Vapaa-ajan uudet mahdollisuudet
Sovinnaisten taidesuuntien hylkääminen

Kulttuuria massoille
Populaarimusiikin esiinmarssi
Radio kansan sivistäjänä ja viihdyttäjänä
Elävän kuvan vuosisata
Tähtikultti
Nuorisokulttuuria ja vastakulttuuria
Sähköisen kulttuurin synty

⁶⁷⁷ Kirjaa *The Mismeasure of Man* (1987) kirjaa käytettiin kuvaamaan kahta ilmiötä kurssissa: ”theory laden” - ilmiötä ja kovien tieteiden luomaa 1800-luvun mitattavuus harhaa. Lisäksi tieteen petos ja tulosten väärennys kuuluu kirjan tematiikkaan. Tämä tiedeosio jouduttiin käymään läpi ilman syvennys-caseä, nopeasti luennoiden. Harhapolut näkyivät useissa vastauksissa, mutta *vain irrallisina* huomioina. Rinnalla voi käyttää Dean Keith Simontonin *The scientific genius* (1990) kirjaa, josta löytyy mielenkiintoisia kvantitatiivisia lahjakkuustutkimuksia.

Jatkuuko Euroopan ”loisto” (1h)
Kuka olet, eurooppalainen ihminen?
Historian loppu

Muutokset toiseen kierrokseen

NOS -kysymysten ensimmäisestä kohdasta kävi ilmi, että opiskelijat eivät ymmärtäneet *evoluutiota teoriaksi ja luonnollista valintaa* luonnonlaiksi. NOS-tutkimuksesta luovuttiin tutkimuksen myöhemmässä vaiheessa. Toiselle kierrokselle tehtiin korjauksia opetukseen: pyrittiin opettamaan evoluutioteorian synty huolellisemmin. Lisäksi opetuksen toisella kierroksella NOS-kysymys kaavakkeessa pyrittiin kysymään asiaa eksplisiittisesti.

Eurooppalaisen ihmisen narratiivit

Vakavat tieteelliset elämäkerrat eivät kerro neroihin liittyviä anekdootteja. Niitä ei myöskään käytetty opetuksessa. Koska ne kuitenkin elävät voimakkaina luonnontieteen historian kansanperinteessä ja jopa oppikirjoissa, niitä jouduttiin opetuksessa ajoittain purkamaan. Tarinoita käytettiin opetuksessa, mutta nyt ne pyrittiin rakentamaan luotettavan tutkimuskirjallisuuden perusteella ja rakentamaan niin, että ne tukevat opetusta. Niinpä tieteellistä elämänkertoja jouduttiin käyttämään runsaasti

Opetuksessa käytettiin lomittain *täysimittaisia kertomuksia ja vinjettejä*⁶⁷⁸. Anekdootteja pyrittiin välttämään. Opetuksessa käytettiin seuraavia luonnontieteen historiallisia kertomuksia:

– vaeltajien ongelma pitkittäisenä teemakertomuksena ja Ptolemaioksen vastaus ongelmaan. On oleellista, että oppilaat saavat selkeän käsityksen, mikä oli astronomian perusongelma ja miksi se koettiin niin tärkeäksi. Vaeltajien tarina kulki läpi kurssin aina newtonistisen tieteen Principian verifiointiin asti.

⁶⁷⁸ Vinjetti on pieni, erillinen kertomus tai kuva. Niitä suositetaan luonnontieteen opetuksessa (MacComas 2007). Vanhoissa lukion historian oppikirjoissa on paljon tällaisia vinjettejä yhdistettynä kuvaan. Ne eivät toimi itsenäisesti, vaan vaativat opettajan ohjaavaa panosta. Esimerkiksi Sarva, Niemen lukion oppikirjassa (1970) tiedettä käsittelevä teksti on niukka, mutta toisaalta kuvavinjettejä on runsaasti, informatiivisilla teksteillä varustettuna: (s.53–69)... Kepler seisoo harppi kädessä maapallon vieressä. Lyhyt kuvaus Keplerin laeista. Teologina hänen tuli vastustaa uusia oivalluksia - siihen aikaan kaikki oppineet olivat ensi sijassa teologeja - luonnontutkijana hänen tuli tunnustaa ne oikeiksi. Kirjassa viitataan Keplerin teologi-tutkija ristiriitaan. Itsenäisesti opiskelija ei voi saada selville, mihin vinjetin kuvateksti oikein vihjaa. Opettajan on tultava avuksi ja kerrottava Keplerin suuresta *ristiriidasta luonnontieteen filosofina ja tiedemiehenä* - platonilaiset monitahokkaat oli hyljättävä empirian edessä. Nykykirjoissa kuvien määrä ja koko on lisääntynyt, ja ne ovat lähes kokonaan syrjäyttäneet entiset tiedollisesti rikkaat vinjettitekstit. Tämä piirre on huomattu myös yleisesti oppikirjoissa (Roth, Pozzer ja Leite). *Laurinda Leite* on tutkinut portugalilaisia fysiikan oppikirjojen historiallista sisältöä. Hän myös kutsuu myös ”pieniä” historiallisia yksiköjä ”vinjeteiksi” (2002, s.620). Nämä vinjetit ovat *mielenkiinnon herättäjiä ja tekstin tai opettajan tehtävänä on sijoittaa vignetit laajempaan historialliseen, sosiologiseen tai tieteenfilosofiseen yhteyteen*. McComas (2007) on löytänyt tieteenfilosofian popularisoinneista 80-yleistä vignettitarinaa. Ne muodostavat tarinapankin, josta opettaja voi aina tarpeen mukaan ammentaa.

– Galilei oikeudenkäynti ja sen eri kerrokset: filosofinen, teologinen, tieteellinen, tiedepoliittinen ja valtapoliittinen. Toisella kierroksella keskityttiin erityisesti ”vahvan” romanttisen Galilein kertomuksen purkuun.

– Isaac Newton henkilönä ja Newtoniin liittyvät tarinat: Principia alku 1684 ja ”vaeltajien ongelma” annetaan nyt Newtonin ratkaistavaksi (matemaattisessa muodossa)...mitä sitten seurasi? Principia ja sen erilainen rakenne (paradigmaksi ja esikuvaksi kaikelle tutkimukselle).

– mitä on ”nerous”: Newton opiskelijana Cambridgessa ja ”maagiset vuodet” 1664–66. Newtonin Januskasvot: viimeinen maagi ja ensimmäinen moderni tiedemies. Maupertuisin retki kauas hyperboreaan ja Principian tulosten verifiointi.

– Charles Darwinin henkilökuva.

– Beaglen tarina: Linnéläinen deisti muuttuu vallankumoukselliseksi evoluutioteorian synteesin laatijaksi ja agnostikoksi.

– multippeli tieteensosiologian kuvaajana: Alfred Russel Wallacen ja Charles Darwinin suhde

– Lajien synnyn tarina ja vastaanotto, Huxley.

Viihteelliset tarinat

Kurssiin valittiin tietoisesti myös muutamia viihteellisiä tarinoita, vinjettejä ja anekdootteja. Kaikki niistä olivat vakavasta kirjallisuudesta otettuja ja todenperäisiä. Ne eivät liittyneet kuitenkaan varsinaisesti yhteiskunta-analyysiin tai internalistiseen historiaan. Niitä ei annettu kirjallisessa muodossa, vaan kerrottiin oikeassa opetuskontekstissa:

– Nestetasapaino-oppi. Sai hilpeän ja kiinnostuneen vastaanoton.

– Isaac Newtonin tutkijapersoonallisuuden kuvaus. Newtonin introverttius, maanisuus, kiivaus, kostonhimo ja epäsosiaalisuus herättivät laajaa mielenkiintoa.

– ”Älykkään naisen” tarina. Nerokas matemaatikko ja luonnonfilosofi Madame de Chatelet herätti mielenkiintoa, kokeissa kukaan ei kuitenkaan kukaan viitannut Voltairen ja Chatelet ’n rakkaustarinaa, jossa Voltaire oli tyhmempi ja käytti Chatelet ’n säkenöivää älyä hyväkseen.

– Charles ja Emma, viktoriaaninen ihanneavioliitto. Emman ja Charlesin avioliitossa monia hauskoja ja koskettavia piirteitä. Opiskelijoita huvitti mm. Charlesin muistiinpanoista löytynyt lappu (Ayden 2002), jossa hän tiedemiehen analyttiseen tapaan pohtii pitäisikö ottaa koira vai vaimo (siis kosia Emmaa!) ja vielä se, että Charles nai samalla suunnattoman perinnön, joka teki hänet täysin riippumattomaksi taloudellisesti. Raha toi myös onnen ja rakkauden mukanaan. Näissä seikoissa riitti opiskelijoilla pohtimista. Viktoriaaninen perhesysteemi avautui hyvin tässä asiayhteydessä.

Muutokset luonnontieteen historian kertomuksissa toiselle kierrokselle

Koska ”valistuksen peruskertomus” –uskon ja tiedon ristiriita– tuli ensimmäisellä kierroksella niin voimakkaasti esille, että lisättiin Galilei henkilökuvaa, jossa Galilein oikeudenkäynti pyrittiin eksplisiittisesti hajottamaan valtopoliittisin komponentteihin ja esittämään tarkastivat sen seuraukset myöhäisrenessanssin yhteiskunnassa (eksternalistinen kartoitus painotilanteesta, käänöksistä, leviämisestä, Galilein maineesta jne.). Galilein osalta ”suuri kertomus” pyrittiin vaimentamaan.

Kurssin opetusmonisteet:

Tieteen historian kronologinen tukimoniste, jaettiin vain ensimmäisellä kurssilla, ja laadittu Normaalityöön vuosittaisella tiedekurssille (vain A-ryhmälle)

1. Newtonin kokovartalokuva (perustui Richard Westfallin *Never at Rest* (1982) kirjaan, joka palkittu useilla tiedepalkinnoilla)
2. Charles Darwin kokovartalokuva (pohjana Janet Brownen arvostettu kaksiosainen: *Charles Darwin Voyaging* (1998) ja *Charles Darwin The Power of Place* (2002))
3. Galilein kokovartalokuva. (pohjana Mario Biagioli, Galilei, Courtier 1992 ja Pietro Redondi, Galilei, *Heretico* 1987, Dava Sobel, Galilein tytär (2002) ja lisäksi Raimo Lehden tuotanto, erityisesti *Siderius Nunciuksen* (1999) johdanto ja alaviitteet täynnä arvokasta tietoa) (vain B-ryhmälle)

Kokeilukurssin tulosten testaus:

Kaikkien ryhmien opiskelijoille EurA, EurB sekä itsenäisille tenttijöille EurF ja EurK järjestettiin kirjallinen koe. Koe muodostui kahdesta osasta: pienistä määritelmä kysymyksistä, joilla katettiin koko kurssialue, sekä yhdestä, oman vapaan valinnan mukaisesta pitkästä esseevastauksesta. Kurssilla kysyttiin painotuksen vuoksi erityisen paljon luonnontieteen historiaa.

Kurssikokeen kysymykset eli pakolliset ”pienet essee”:

Eur A:

- hellenismi
- Tuomas Akvinolaisen merkitys
- barokin keskeiset piirteet
- miten Karl Marx analysoi kapitalistista yhteiskuntaa?
- miksi *Principia* 1687 on tieteen merkkipaalu?
- mitä tarkoitetaan renessanssilla.

EurB:

- klassisen kreikkalaisen arkkitehtuurin piirteet
- skolastiikka
- miksi *Principia* 1687 on tieteen merkkipaalu?
- Rousseau valistusfilosofina
- mikä oli Darwinin *Lajien synnyn* merkitys?
- mitä tarkoitetaan renessanssilla?

”Pienissä esseissä” EurF ja EurK ryhmäläiset vastasivat aluksi EurA kysymyksiin ja myöhemmin EurB kysymyksiin.

Valinnaisten kirjoitelmien teema-alueet

Pitkän kirjoitelman, jonka pituus vaihteli yhdestä konseptiarkista aina neljään konseptiarkiin. Opiskelijat saivat kirjoittaa haluamastaan teemasta. Vaikka esseiden kohdentuminen vaihteli ajallisesti, ne käsittelivät kaikissa ryhmissä, EurA, EurB, EurF ja EurK, seuraavia teemoja. Ne jakautuivat seuraavasti.

Taulukko 2. Opiskelijoiden esseekirjoitelmien jakautuminen eri ryhmissä

esseeaihe	EurA	EurB	EurF ja EurK	yhteensä
Yhteiskunta ja taide	3	9	3	15
Yhteiskuntafilosofia	4	3	2	9
Tiedon ja uskon ristiriita	8	1	6	15
Tieteen vallankumous	7	7	9	23
Olivatko Newton ja Darwin neroja	5	4	1	10
	27	24	21	72

Kaksi ensimmäistä teemaa oli tarkoitettu opiskelijoille, jotka eivät halunneet vastata luonnontieteelliseen teemaan vaan kulttuuri- ja yhteiskuntahistoriaan. Kolme viimeistä kysymystä käsittelivät luonnontieteen historiaa, ja niiden teemat olivat sellaisia, että jos opiskelija on kiinnostunut henkilöhistoriasta, hän pystyi vastaamaan luonnontieteen historiaan. Myös yhteiskunnallisesti suuntautuneet opiskelijat saivat oman luonnontieteen historiallisen teemansa. Luonnontieteen historiaan vastasi laajoissa esseevastauksissa 48/72. Esseekysymysten sanamuodot vaihtelivat eri teemoissa.

LÄHTEET

- Abadia, O. M. 2009. Thinking about 'presentism' from a historian's perspective: Herbert Butterfield and Hélène Metzger. *History of Science*, 47:1, 55–77.
- Abadia, O. M. 2008. Beyond The Whig history interpretation of history: lessons on 'presentism' from Hélène Metzger, *Studies in History and Philosophy of Science*, 40:2, 194–201.
- Abd-El-Khalick, F. 2005. Developing deeper understandings of nature of science: the impact of a philosophy of science course on preservice science teachers' views an instructional planning. *International Journal of Science Education*, 10:1, 15–42.
- Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N. G. 2000a. The Influence of History of Science Course on Students' Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37:10, 1057–1095.
- Abd-EL-Khalick, F. & Lederman N. G. 2000b. Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of literature. *International Journal of Science Education*, 22:7, 665–701.
- Abraham, G.A. 1983. Misunderstanding the Merton Thesis. *Isis*, 74:2, 368–387.
- Aho, E. 2002. *Historiallisia kertomuksia lukiolaisten kirjoittamina*. Turku: Turun yliopisto.
- Ahonen, K. W. 1988. Tuntematon Newton – mitä Newton etsi 30 vuoden ajan alkemiasta? Teoksessa Lehti, R., Markkanen T. ja Jan Rydman, J (toim.), *Isaac Newton – Jättiläisen hartioidella*. Helsinki: Ursa.
- Ahonen, S. 1998. *Historiaton sukupolvi? Historian vastaanotto ja historiallisen identiteetin rakentuminen 1990-luvun nuorison keskuudessa*. Helsinki: Suomen Historiallinen Seura.
- Aikenhead, G. & Ogawa, M. 2007. Indigenous Knowledge and and Science Revisited. *Cultural Studies of Science Education*, 2:3, 539–620.
- Aikenhead, G. 2001. Integrating Western and Aboriginal Sciences: Cross Cultural Teaching. *Research in Science Education*, 31:3, 337–355.
- Akerson, V. L., Morgan, L., Morrison, J. A. & McDuffie, A. R. 2006. One Course Is Not Enough: Preservice Elementary Teachers' Retention of Improved Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 43:2, 377–399.
- Akvinolainen, T. 2002. *Summa Theologiae*. Suom. J.-P. Rentto. Helsinki: WSOY.
- Aksela, M. 2005. Supporting meaningful chemistry learning and higher-order thinking through computer-assisted inquiry: a design research approach. Helsinki: Yliopistopaino.
- Alexander, A. R. 2006a. FOCUS, Mathematical Stories, Introduction. *Isis*, 97:4, 678–672
- Alexander, A.R. 2006b. FOCUS, Mathematics in Romantic Narratives and refounding of mathematics in the Early Nineteenth Century. *Isis*, 97:4, 714–726.
- Allchin, D. 2012. The Minnesota Case Study Collection: New Historical Inquiry Case Studies for Nature of Science Education. *Science & Education*, 21:9, 1263–1281.
- Allchin, D. 2011. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95:3, 518–542..
- Allchin, D. 2006. Why respect for History – and Historical Error – Matters. *Science & Education*, 15:1, 91–111.
- Allchin, D. 2004. Pseudohistory and Pseudoscience. *Science and Education*, 13:2, 179–195.
- Allchin D.2003a. Lawson's Shoehorn, or Should the Philosophy of Science Be Rated 'X'. *Science and Education*, 12:3, 315–329.
- Allchin, D. 2003b. Scientific Myth-Conception, *Science Education*, 12:3, 329–351.
- Allchin, D. 2002. Tapping into Pulse of the History of Science with Case Studies. <http://www.actionbioscience.org/education/allchin.html>.
- Allchin, D. 2000. How Not to Teach History in Science, Resource Center [shps.umn.edu](http://www1.umn.edu/shps/updates/hist-not.htm), (<http://www1.umn.edu/shps/updates/hist-not.htm>).
- Allchin, D. 1999. Values in Science: An Educational Perspective, *Science and Education*, 8:1, 1–12.
- Alter, B. J. 1997. Whose Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 34:1, 39–55.
- Amir-Am, P. G. 2003. Women in Science. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), *The Oxford Companion to the History Modern Science*, 827–829.
- Amos, S. & Boohan, R. (toim.) 2002. *Teaching Science in Secondary Schools*. London: Routledge Falmer.

- Andresen, J. 1999. Kuhn and Crises. *Isis*, 90:1,55.
- Arola, P. 2001. Maailma muuttui – muuttuiko opetus? Teoksessa Löfström, J. (toim.). Kohti tulevaa menneisyyttä. Jyväskylä: PS-kustannus.
- Asikainen, M. 2006. Opettajien ja opettajaopiskelijoiden kvantti-ilmiöitä ja –olioita kuvaavat mallit: tapaustutkimus. University of Joensuu Department of Physics and Mathematics. Dissertations 51. Joensuu: Joensuun yliopistopaino.
- Aydon, C. 2002. Charles Darwin. London: Robinson.
- Backhus, D. A. & Thompson, K. 2006. Addressing the Nature of Science in Preservice Science Teacher. *Journal of Science Teacher Education*, 17:1, 65–81.
- Barab, S. A. & Luehmann, A.L. 2003. Building Sustainable Science curriculum: Acknowledging and Accommodating Local Adaptation. 87:4, 454–467.
- Bassalla, G. 1967. The Spread of Western Science. *Science* 15, 611–622.
- Bell, R. L. & Lederman N.G. 2003. Understandings of the Nature of Science and Decision Making on Science and Technology Based. *Science Education*, 87:3, 352–377.
- Bencze, L. & Hodson, D. 1999. Changing Practice by Changing Practice Toward more Authentic Science And Science Curriculum Development. *Journal of Research in Science Teaching*, 36:5, 521–539.
- Bennett, J. 2003. The Oxford Companion to the Modern History of Science, (toim.) J. Heilbron, 693–4.
- Berlinski, D. 2002. Newton's Gift; How Sir Isaac Newton Unlocked the System of the World. New York: The Free Press.
- Bennett, J., Lubben, F. & Hogart, S. 2007. Bringing Science to Life: A Synthesis of the Research Evidence on the Effects of Context-Based and STS Approaches to Science Teaching. *Science Education*, 91:4, 347–370.
- Bennett, J. 2003a. Instruments and Instrument Making. Teoksessa Heilbron, J. (toim.). The Oxford Companion to the History of Modern Science, 405–410.
- Bennett, J. 2003b. Instruments and Surveying, Teoksessa Heilbron, J. (toim.). The Oxford Companion to the History of Modern Science, 410–411.
- Berg, M. 2007. The Genesis of 'Useful Knowledge'. *History of Science*, 45:2, 123–133.
- Bereiter, C. 2001. Design research for sustained innovation. *Cognitive Studies, Bulletin of the Japanese Cognitive Science Society*. 3/2001, 321–327.
- Bell, E. T. 1963. Matematiikan michiä. Suom. Klaus ja Helka Vala. Helsinki: WSOY.
- Bernal, J.B. 1984. Science in History, vols. 1–4 (alun perin 1954). Cambridge University Press.
- Biagoli, M. 1993. Galileo, Courtier. The Practice of Science in the Culture of Absolutism. Chicago: University of Chicago Press.
- Biagoli, M. 2003. Courts and Salons. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), Oxford Companion to the History of Science., Oxford: Oxford University Press, 185–186.
- Bianchini, J. 2003. Challenges of Standards-Based Reform: The Example of California's Science Content Standards and textbook Adoption Process. *Science Education*, 87:3, 378–389.
- Bianchini, J. & Colburn A. 2000. Teaching Nature of Science through Inquiry to Prospective elementary Teachers: A Tale of two Researchers. *Journal of Research of Science Studies*, 37:2, 177–209.
- Bijker, W. E. 2004. Sustainable Policy? A Public Debate about Nature Development in the Netherlands. *History and Technology*, 22:4, 371–391.
- Biesta, G & Burbules, N. 2003. Pragmatism and Educational Research. Lanham, MD: Rowman & Littlefield.
- Bishop, M. A. & Downes, S. M. 2002. The theory theory thrice over the child as scientist, Superscientist or social institution. *Studies in History of Philosophy of Science*, 33:2, 117–132.
- Blair, A. 2006. Natural Philosophy. Teoksessa K. Park & L. Daston (toim.) The Cambridge History of Science Vol.3. Cambridge: Cambridge University Press, 365–406.
- Bodanis, D. 2006. The Passionate Minds, The Great Scientific Affair. London: Abacus.
- Bowler, P. J. 1997. Ympäristötieteiden historia. Suom. Kimmo Pietiläinen., Helsinki: Art House.
- Bowler, P. J. 1989. Evolution, The History of an Idea. Berkeley: University of California Press.
- Bradford, L. F. & Aikenhead, G.S. 2001. Introduction: Shifting Perspective from Universalism to Cross-Culturalism. *Science Education*, 85:1, 3–5.
- Brannigan, A. & Wanner R. A. 1983. Historical Distributions of Multiple Discoveries and theories of Scientific Change. *Social Studies of Science*, 22:3, 417–435.
- Broad, W. 1980. History of Science is Losing Its Science. *Science*, 207, 389.

- Browne, J. 2006. *Darwin's Origin of Species*. London: Atlantic Books.
- Browne, J. 2001. *Charles Darwin, The Power of Place*. London: Jonathan Cape.
- Browne, J. 1995. *Charles Darwin, Voyaging*. London: Pimlico.
- Bruner, J. 2004. *Narratives in Science*. (toim.) Scanlon, E., Murphy, P. Jeff Thomas, J. & Elisabeth Whitelegg, E. (toim.). *Reconsidering Science Learning*. New York: Routledge Falmer.
- Brush, S. G. 2004. Comments on the Epistemological Shoehorn Debate. *Science & Education*, 12:2, 179–200.
- Brush, S. G. 2000. Thomas Kuhn as a Historian of Science. *Science & Education*, 8:3, 215–231.
- Brush, S. 1995. Scientists as Historians. *Osiris*, 10, 214–231.
- Brush, S. G. 1988. *The History of Modern Science: a guide to the second scientific revolution 1800–1950*. Ames: Iowa State University Press.
- Brush, S. G. 1974. Should History of Science Rated X. *Science*, 183, 1164–1172.
- Burt, E.A. 1954 [1924]. *The Metaphysical Foundations of Modern Science*. The Scientific thinking of Copernicus, Galileo, Newton and their contemporaries. London: Doubleday & Anchor Books.
- Butterfield, H. 1980. *The Origins of Modern Science*. London: Bell & Hyman.
- Bynum, W.F., Browne, E. J. & Porter, R. (toim.). 1982. *Dictionary of The History of Science*. London: MacMillan.
- Cao, T. Y. 2003. Space and Time. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), *The Oxford Companion to the History of Modern Science*. Oxford: Oxford University Press, 765–767.
- Cabral, R. 1996. Herbert Butterfield (1900–79) as a Christian History of Science. *Studies in the History and philosophy of Science*, 27:4, 547–569.
- Campario, J. M. 2002. The parallelism between scientists' and students' resistance to new areas. *International Journal of Science Education*, 24:8, 1095–1110.
- Capshe, J. H. & Rader, K. A. 1992. Big Science: Price to Present. *Osiris*, 7, 2–25.
- Carson, R. 2006 (1962). *Silent Spring*. London. Penguin Books.
- Carson, R. N. 2004. Teaching Cultural History from Primary Events. *Science & Education*, 12:3, 197–209.
- Carson, R. N. 2002. The Epic Narrative of the Intellectual Culture as a Framework for Curriculum Coherence. *Science & Education*, 10:2, 131–146.
- Carson, R. N. 1997. Science and the Ideals of Liberal Education. *Science & Education*, 5:3, 225–238.
- Carter, L. 2005. Globalisation and Science Education: Rethinking Science Education Reforms. *Journal of Research in Science Teaching*, 42:4, 561–580.
- Cartwright, J. 2007. Science and Literature: Towards a Conceptual Framework. *Science & Education*, 15:2, 115 – 139.
- Carroll, W. E. 1999. Galileo and the Interpretation of the Bible. *Science & Education*, 15:2, 151–187.
- Cavicchi, E. M. 2008. Historical Experiments in Students' Hands: Unfragmenting Science through Action and History. *Science & Education*, 16:6, 717–749.
- Chalmers, A. F. 2000. *What is this thing called Science* (1976 ensimmäinen painos). New York: Open University Press.
- Chambers, D. W. & Gillespie R. 2001. Locality, Colonial Science, Technoscience and Indigenous Knowledge. *Osiris*, 16, 221–238.
- Chambers, D. W. 1999. Seeing a World in a Grain of Sand: Science Teaching in Multicultural Context. *Science & Education*, 633–645.
- Chen, S. 2006. Development of an Instrument to Assess Views on Nature of Science and Attitudes Toward Teaching Science. *Science Education*, 91:1, 803–819.
- Christie, J. R. R. 1990. The development of the historiography of science. Teoksessa Olby, R.C., Cantor, G.N., Christie, J. R.R. & Hodge M, J.S. (toim.). *Companion to the History of Modern Science*. Cambridge, Cambridge University Press, 5–23.
- Clagett, M. (toim.). 1962. *Critical Problems in the History of Science*. Madison: University of Wisconsin.
- Clark, W. 1995. "Narratology and the History of Science". *Studies in the History and Philosophy of Science*, 26:1, 1–71.
- Clary, R. M. & Wandersee, J. 2010. Scientific caricatures in the Earth Science Classrooms: An alternative Assessment for Meaningful Science Learning. *Science & Education*, 19:1, 21–37.
- Clay, W.M. 2011. Whig History at Eighty. *First Things*, 5/2011, s. 47–55.

- Clough, M. P. 2011. The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life in Post-Secondary Science, *Science & Education* 20:7-8, 701–711.
- Clough, M. P. 2006. Learners' Responses to the Demands of Conceptual Change: Considerations for Effective Nature of Science Instructions. *Science & Education*, 14:4, 463–494.
- Coburn, W. W. & Loving, C. 2008. An Essay for Educators: Epistemological Realism Really is Common Sense. *Science & Education*, 16:4, 425–447.
- Cohen, F. H. 2003. Scientific Revolution. Teoksessa Heilbron, J. (toim.). *The Oxford Companion to the History of Science*. Oxford: Oxford University Press, 741–743.
- Cohen, F. H. 1994. *The Scientific Revolution*. Chicago: Chicago University Press.
- Cohen I. B. & Smith, G. E. 2003. *The Cambridge Companion to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cohen, I. B. 1999. The Isis Crises and The Coming of Age of the History of Science Society. *Isis Supplement*, 28–42.
- Cohen, I. B. 1988. The Publication of Science, Technology and Society: Circumstances and Consequences. *Isis*, 79:4, 571–605.
- Cohen, I. B. 1987 (1960). *The Birth of Science*. New York: Norton.
- Cohen, I. B. 1985. *Revolution in Science*. Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Cohen, I. B. 1980. *The Newtonian Revolution*. Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Cohen, I. B. & Clagettin, M. 1964. Commemoration. *Isis*, 1964, 157–166.
- Cohen, I. B. 1960. Newton in the Light of Recent Scholarship. *Isis*, 61:4, 489–514.
- Cole, S. 2004. Merton's Contribution to the Sociology of Science. *Social Studies of Science*, 34:7, 899–844.
- Collins, H. 2007. The Uses of Sociology of Science for Scientists and Educators. *Science & Education*, 15: 2, 222.
- Collins, H. & Pinch, T. 1999. *The Golem, What You Should Know about Technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Collins, H. & Pinch, T. 1997. *The Golem, What You Should Know about Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Comte, A. 1975. August Comte and Positivism, *The Essential Writings*, (toim. Gertrud Lenzer). London: Harper Torchbooks.
- Copenhaver, B., P. 2006. Magic, Eds. Park, K. and Daston, L. Teoksessa *The Cambridge History of Science* 2006, s. 524.
- Cordero, A. 2001. Scientific Culture and Public Education. *Science & Education*, 9:1, 71–83.
- Cornwell, J. 2003. *Hitler's Scientists: Science, War and the Devil pact*. London: Viking.
- Crombie, A. 1962. The Significance of Medieval Discussions of the Scientific Method for the Scientific Revolution. Teoksessa Clagett, M. (toim), *Critical Problems in the History of Science*. Madison: University of Wisconsin.
- Crump, T. 2001. *A brief history of science as seen through the development of scientific instruments*. London: Robinson.
- Cunningham, A. & Perry Williams, P. 2003. De-centring the "Big Picture": *The Origins of Modern and the Modern Origins of Science*. Teoksessa *The Essential Readings of Scientific revolution*. (toim.). Hellyer,
- Dagher, Z. R. & Ford, D. J. 2005. How are scientists Portrayed in Children's Science Biographies. *Science & Education*, 13:3, 377–393.
- Daston, L. 2008. On Scientific Observation. *Isis*, 99:1, 97–110.
- Daston, L. 1991. A Second Look, *History of Science in Elegiac Mode*, E.A. Burt's *Metaphysical Foundations of Modern Physical Science Revisited*. *Isis*, 82:4, 522–531.
- Davies, I. 2004. Science and Citizenship Education. *International Journal for Science Education*, 26:14, 1751–1763.
- Day, M. 2008. *The Philosophy of History*. London: Continuum.
- Dear, P. 2006. *The Intelligibility of Nature, How Science Makes Sense of the World*. Chicago: University of Chicago Press.
- Dear, P. 2005. Natural Philosophy an Instrumentality, Early Modern Roots of the ideology of Modern History. *Isis*, 95:3, FOCUS, 390–406.

- DeBoer, G. E. 2000. Scientific Literacy: Another look at Its Historical and Contemporary Meanings and Its relationship to Science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 22:4, 582–601.
- Debru, C. 1998. History of Science and Technology Education and Training in Europe. Euroscientia Conferences. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1999.
- Debus, A.G. & Ashworthin, W. 2003. Ed.Hellyer. The Essential Readins to the Scientific revolutions.
- Demir, I. 2008. In commensurabilities in the work of Thomas Kuhn. *Studies in History and Philosophy of Science*, 46:2, 133–142.
- Dewitt, R. 2004. *Worldviews*. Oxford: Blackwell.
- Dijksterhuis, E.J. 1962. The Origins of the Classical Mechanics. Teoksessa Clagett, M. (toim.), *Critical Problems in the History of Science*. Madison: University of Wisconsin.
- Dobbs, B. J. T. 1994. Newton as Final Cause and First Mover. *Isis*, 85:4, 633–643.
- Dobbs, B. J. T. 1991. *The Janus Faces of Genius*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dobbs, B. J. T. 1975. *The Foundaton of Newtons Alchemy*. Cambridge: CambridgeUniversity Press.
- Dodick, J. & Orion, N. 2003. Geology as an Historical Science: Its Perception withinScience and Educational System. *Science & Education*, 11:2, 197–211.
- Donnelly, J. F. 2004. Humanizing Science Education. *Science Education*, 88:5, 762–784.
- Donnelly, J. F. 2002. Instrumentality, Hermeneutics and the Place of Science in the School Curriculum. *Science & Education*, 10:2, 135–154.
- Donnelly, J. F. 2001. Contested terrain or unified project? “The nature of science” in the National Curriculum for England and Wales. *International Journal in Science Education*, 23, 2,181–195.
- Drori, G. S. 2000. Science Education and Economic Development: Trends, Relationships’ and Research Agenda. *Studies in Science Education*, 35:1, 27–57.
- Durbin, P. T.(toim.). 1984. *A Guide to Culture of Science, Technology, and Medicine*. The Free Press MacMillan.
- Dusek, V. 2004. *Philosophy of Technology, An Introduction*. Oxford: Blackwell.
- Eamon, W. 2006. Markets, Piazzas, and Villages. (toim.) Park, K. and Daston, L. *The Cambridge History of Science*, 206–223.
- Ede, A. & Cormack, L. B. 2003. *A History in Science and Society: From Philosophy to Utility*. Peterborough, Ont.: Broadview Press.
- Edelson, D. C. 2002. Design research: what we can learn when we engage in design experiments. *Journal of the Learning Sciences*, 11:1, 105–121.
- Edgerton, D. 2006. *The Shock of The Old, Technology and Global history Since 1900*. New York: Profile Books.
- Edgerton, D. 1999. Ten Eclectic Theses of the Historiography of Technology. *History of Technology*, 15:2, 111–136.
- Edis, T. 2008. Modern Science and Conservative Science: An Uneasy Relationship. *Science & Education*. 18:6/7, 885–903.
- Eflin, J. T., Glennan, S. & Reisch, G. 1999. The Nature of Science: A Perspective from the Philosophy of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36:1, 107–116.
- Egan, K. 1989. *Teaching as story telling, an alternative approach to teaching and curriculum in the elementary school*. Chicago: Chicago University Press.
- Eskola, J. & Suoranta, J. 2005 (1998). *Johdatus laadulliseen tutkimukseen*. Tampere: Vastapaino.
- Euler, M. 2006. Revitalizing Ernst Mach’s Popular Scientific Literacy (julkaisulistalla). *Science & Education*.
- Fara, P. 2009. *Science A Four Thousand Year History*. Oxford: Oxford University Press.
- Fara, P. 2006. *Newton, The Making of Genius*. London: Picador.
- Feldhay, R. 2003. Galileo Galilei and the Church, Political Inquisition or Critical Dialogue? Cambridge: Cambridge University Press.
- Fensham, P. J. 2004. School Science and its problems with scientific literacy. Teoksessa Scanlon, E., Murphy, P., Thomas, J. & Whitelegg, E. (toim.), *Reconsidering Science Learning*. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Fensham, P. J. 1992. Science and Technology. Teoksssa Jackson, P. W. (toim.), *Handbook of Research on Curriculum*. London: MacMillan.
- Feyerabend, P. 1978. *Science in a Free Society*. London: NLB.
- Findlen, P. 2005. The two Culture Scholarship. *Isis, Focus*, 96:2, 230–237.

- Finocchiaro, M. A. 2002. Galileo as a 'bad theologian': a formative myth about Galileo's trial. *Studies in History and Philosophy of Science*, 33:4, 753–791.
- Finocchiaro, M. A. 2001. Science, Religion, and the Historiography of the Galileo Affair. *Osiris*, 16, 114–146.
- Finocchiaro, M. A. 1999. The Galileo Affair From John Milton to John Paul II Problems and Prospects. *Science and Education*, 7:2, 189–209.
- Fleming, D., Needham, J., Grant E. & Roger, J. 1980. The DBS: A Review Symposium. *Isis*, 71:6, 633–653.
- Foshay, A. W. 2000. *The Curriculum, Purpose, Substance, Practice*. New York: Teachers College Press.
- Friedel, R. 2010. *A Culture of Improvement, Technology of the Western Millenium*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Friedman, M. 2008. History and Philosophy of Science in a New Key. *Isis*, 99:1, 125–134.
- Frova, A. & Marenzana, M. 2003. *Thus Spoke Galileo, The Great Scientist's Ideas and Their Relevance to the Present Day*. Oxford: Oxford University Press.
- Frängsmyr, T., Heilbron, J.L. & Ryder, R.E. (toim.) 1990. *The Quantifying Spirit of 18th Century*. Berkeley: University of California Press.
- Fuller, S. 2007. *The Knowledge Book, Key Concepts in Philosophy, Science and Culture*. London: Acumen.
- Fuller, S. 2003. Science & Technology Studies and the Philosophy of Social Sciences. *The Blackwell Guide to the Social Sciences*. Stocksfield: Acumen, 207–233.
- Fuller, S. 2000. From Conant's Education Strategy to Kuhn's Research Strategy. *Science & Education*, 8:1, 21–37.
- Fuller, S. 1999. Is Science Studies lost in the Kuhnian plot? On the way back from paradigms to movement. *Science as Culture*, 8:4, 401–436.
- Füredi, F. 1992. *From Mythical Past to Elusive Future*. London: Pluto Press.
- Fyfe, A. 2002. Publishing and the Classics: Paley's Natural theology and the Nineteenth-Century Science Canon. *Studies in the History and Philosophy of Science*, 33:4, 729–751.
- Gabbey, A. 1990. Newton and Natural Philosophy. Teoksessa Olby, R.C., Cantor, G.N., Christie, J.R.R. & Hodge, M. J.S. (toim.), *Companion to The History of Modern Science*, Cambridge: Cambridge University Press, 217–243.
- Gabral, R. 1996. Herbert Butterfield as a Christian Historian of Science. *Studies in History and Philosophy of Science*, 27:4, 547–564.
- Galilei, G. 1999 (1610). *Siderius Nuncius*. Suom. ja toim. Raimo Lehti. Helsinki: Ursa.
- Galili, I. 2012. *Science & Education*, 21:9, 1283–1261.
- Galili, I. 2009. Thought Experiments: Determining Their Meaning. *Science Education*, 93:1, 1–23.
- Galison, P. 2008. Ten Problems in History and Philosophy of Science, *Isis*, 99:1, 111–124.
- Garber, D. 2006. Physics and Foundations. Teoksessa *The Cambridge History of Science*, Eds. Park, K. & Daston, L., 21–69.
- Gascoigne, J. 2007. Getting things Fix. *The Longitude Phenomen*. *Isis*, 98:4, 769–778.
- Gaston, J. 1984. *Sociology of Science and Technology*. Teoksessa Durbin, P. J. (toim.) *A Guide to The Culture of Science, Technology and Medicine*. New York: Free Press, 465–525.
- Gauch jr., Hugh, G. 2009. Science, Worldviews, and Education. *Science & Education*, 17:5, 641–666.
- Giere, R. N. 1992. *Cognitive Models of Science*, Minnesota Studies in the Philosophy of Science. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Gillispie, C. C. 1962. *The Edge of Objectivity, An Essay in the History of Scientific ideas*. Princeton, NJ.: Princeton University Press.
- Gillispie, C. C. (toim.). 1980. *Dictionary of Scientific Biographies* vol 7. New York: Scribners.
- Gil-Perez, D., Vilches A., Fernandez, I., Cachapuz, A., Praia, J., Valdez P. & Julia Salinas, J. 2005. Technology as “Applied Science”. *Science and Education*, 13:3, 309–320.
- Gil-Perez, D., Guisasaola, J., Moreno, A., Cachapuz, A., Pessoa de Carvalho, A. M., Torregrosa, J. M., Salinas, J., Valdes, J., Gonzales, E., Duch, A. G., Dumas-Carre, A., Tricarico, H. & Gallego, R. 2003. Defending Constructivism in Science Education. *Science & Education*, 11:7, 787–797.
- Clark, W. 1995. Narratology and the History of Science. *Studies in History and Philosophy of Science*, 26:1, 1–75.
- Glaserfeld, E., von. 1998. Cognition, Construction of Knowledge, and Teaching. Teoksessa Matthews, M.R. (toim.), *Constructivism in science education: a philosophical examination*, 34–45.

- Glaserfeld, E. von. 1992. Constructivism Reconstructed: A Reply to Suchting. *Science & Education*, 1:3, 379–384.
- Golinski, J. 1998. *Making Natural Knowledge. Constructivism and the History of Science*. Cambridge: Cambridge University.
- Golinski, J. 1990. Theory and Practice and Practice of Theory: Sociological Approaches in the History of Science. *Isis*, 81:4, 492–505.
- Good, R. & Shymansky, J. 2001. Nature-of-Science Literacy in Benchmarks and Standards: Postmodern/Relativist or Modern/Realist? *Science and Education*, 9:2, 173–185.
- Gough, N. 2002. Thinking/acting locally/globally: Western science and environmental education in the global knowledge economy. *International Journal of Science Education*, 11: 11, numero, 1217–1237.
- Gould, S. J. 1996. *The Mismeasure of Man*, Revised and Expanded edition. New York: Norton.
- Graham, L. 1985. The Socio-political Roots of Boris Hessen: Soviet Marxism and The History of Science. *Social Studies of Science*, 15:7, 705–722.
- Greiffenhagen, C. & Sherman, W. 2008. Kuhn and conceptual change: on the analogy between conceptual changes in science and children. *Science and Education*, 16:1, 1–26.
- Gribbin, J. 2002. *Science: a history*. London: Penguin Books.
- Hacking, I. 2009. Mitä sosiaalinen konstruktionismi on? Suom. Inkeri Koskinen. Tampere: Vastapaino.
- Hall, A. R. 1992. Isaac Newton Adventurer in Thought. Oxford: Blackwell.
- Hall, A. R. 1985. What is History of Science? *History of Today*, 1985/5, 38–39.
- Hall, A. R. 1983. *The Revolution in Science 1500–1750*. London: Longman.
- Hall, A. R. 1963. Merton Revisited. *History of Science*, 2:1, 1–16.
- Hall, A. R. 1959. The Scholar and Craftsman in the Scientific Revolution. Teoksessa Clagett, M. (toim.) *Critical Problems in the History of Science*. Madison: Wisconsin University Press, 24
- Hall, K. 2003. Europe and Russia. Teoksessa Heilbron J. (toim.), *The Oxford Dictionary of the History of Modern Science*, 279–282.
- Halloun, I. 2004. *Modeling Theory in Science Education*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Hallyn, F. 1998. From Clío's Stepdaughter to a Bridge between two Cultures. Teoksessa Debru, C. (toim.), *History of Science and Technology Education and Training in Europe*. Euroscientia Conferences, 85–97.
- Hankins, T. L. 1979. In Defence of Biography: The Use of Biography in the History of Science, *History of Science*, 19, 1–16.
- Harding, S. 2003. Dysfunctional Universality Claims? Scientific, Epistemological, and Political Issues. Teoksessa Scharff, R.C. & Dusek, V. (toim.), *Philosophy and Technology, The technological Condition*. Blackwell: Oxford, 154–170.
- Hargreaves, J. & Hargreaves, T. 1983. Some models of School Science in British Curriculum Projects an their implication for STS Teaching at the Secondary Level. *Studies of the Sociology of Science*, 569–604.
- Harris, S. J. 2006. Networks of Travel, Correspondence, and Exchange, *Cambridge History of Science*, (toim.) Park, K. and Daston, L., Cambridge: Cambridge University press, 341–360.
- Hassinen, S. 2006. Idealähtöistä koulualgebraa. *Helsingin yliopiston tutkimuksia* 274.
- Heilbron, J. L. 2010. *Galileo*. Oxford: Oxford University Press.
- Heilbron, J. (toim.). 2003. *The Oxford Companion to The History of Modern Science*. Oxford: Oxford University Press.
- Heilbron, J. 2003. *History of Science*. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), *The Oxford Companion to The History of Modern Science*. Oxford: Oxford University Press, 370–373.
- Heilbron, J. 1988. Lessons from Teaching History of Science. Teoksessa Debru, C. (toim.), *History of Science and Technology Education and Training in Europe*. Euroscientia Conferences, 175–190.
- Heilbron, J.L. & Kevles, J.L. 1988. Science and Technology in U.S. History Textbooks: What's There – And What Ought to be There. *The History Teacher*, 21:4, 425–438.
- Heilbron, J.L. 1987. *Applied History of Science*. 78:4, 552–560.
- Heinonen, J.-P. 2005. Opetussuunnitelmat vai oppimateriaalit. Peruskoulun opettajien käsityksiä opetussuunnitelmien ja oppimateriaalien merkityksestä opetukselle. Helsinki: Helsingin Yliopisto, sovel-tavan kasvatustieteen laitos.
- Hellyer, M. (toim.) 2003. *The Scientific Revolution. The Essential Readings*. Blackwell Essential readings in History. Oxford: Blackwell Publishing.

- Hellyer, M. 2003. Teoksessa ed. Hellyer, M. Editors Introduction: What was the Scientific Revolution. The Scientific Revolution. The Essential Readings. Blackwell Essential readings in History, 1-15.
- Hendry, J. 1985. What is the History of Science. *History of Today*, 1985:5, 39-40.
- Hershey, D. R. 2006. Pseudohistory and Pseudoscience: Corrections to Allchin's Historical, Conceptual and Educational Claims. *Science and Education*, 14:2, 121-125.
- Hesse, M. 1963. Essay Review. *Isis*, 54, 2, 286-287.
- Hitchcock, C. (toim.). 2004. *Contemporary Debates in Philosophy of Science*. Oxford: Blackwell.
- Hipkins, R., Barker, M. & Bolstad, R. 2005. Teaching the 'nature of science': modest adaptations or radical reconceptation. *International Journal of Science Education*, 14:2, 243-254.
- Hodge, J. 1990. *Origins and Species before and after Darwin*. Teoksessa Olby, R.C., Cantor, G.N., Christie, J. R. R. & Hodge M, J.S. (toim.) *The Cambridge Companion to the History of Modern Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 374-396.
- Hodge, J. & Raddick, G.(toim.). 2003. *The Cambridge Companion to Darwin*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hodson, D. 2006. Why We Should Prioritize Learning about Science? *Canadian Journal of Science, mathematics and technology education*, 10:2, 193-211.
- Hobson, D. 2003. Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 11: 5, 645-670.
- Hobson, D. 1992. Assessment of Practical Work. *Science & Education*, 1:2, 114-144.
- Holmes, F. L. 1981. The fine Structure of Scientific Creativity. *History of Science*, 18, 1, 60-69.
- Holmes, F. L. 2003. Chemistry. Teoksessa Heilbron J. (toim.). *The Oxford Companion to the History of Modern Science*, 145-151.
- Holton, G. 2003. What Historians and Science Educators Can Do for One Another, *Science and Education*, 603-616.
- Holton, G. 1993. *Science and anti-Science*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Holton, G. 1992. Ernst Mach and Fortunes of Positivism in America. *Isis*, 83:1, 27-60.
- Holton, G. 1986. The advancement of science, and its burdens. *The Jeffersonian Lecture and other essays*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Holton, G. 1973. *Thematic Origins of Scientific Thought*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Home, R.W. 2003. Cohesion. Teoksessa Heilbron J. (toim.), *The Oxford Companion to the History of Modern Science*, 163.
- Hong, S. 1999. Historiographical Layers in The Relationship Between Science and technology. *History and Technology*, 15:3, 289-311.
- Hongisto, L. 1992. Tekniikan opetus koulussa, trieerin ongelma. Teoksessa Markkanen, T. (toim.), *Artikkeleita tekniikan ja teknologian historiasta*. Jyväskylä: Jyväskylän yliopiston historian laitos.
- Hongisto, L. 1988. Isaac Newton ja älylliset tyhjiöt. Teoksessa Lehti, R., Markkanen, T. & Rydman, J. (toim.), *Jättiläisten hartioilla*. Helsinki:Ursa.
- Hoyningen-Huene, P. 1993. *Reconstructing Scientific Revolutions*. Thomas S. Kuhn's Philosophy of Science. Chicago: University of Chicago Press.
- Huff, T. E. 1993. *The Rise of Early Modern Science, Islam, China and the West*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hughes, G. 2000. Marginalization of Sosioscientific Material in Science – Technology Science Curricula: Some implications for Gender Inclusivity and Curricula reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37:5, 426-440.
- Hughes, M. 1997. The National Curriculum in England and Wales: A Lesson in Externally Imposed Reform? *Educational Administration Quarterly*, 33:2, 183-197.
- Hughes, T. P. 1983. *Networks of Power: Electrification of Western Society, 1880-1930*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Hull, L. D. 2000. The Professionalization of Science Studies: Cutting Some Slack. *Biology and Philosophy*, 15:1, 61-91.
- Hull, D. L. 1979. In Defence of Presentism. *History and Theory*, 18:1, 1-15.
- Höttecke, A. D. & Riess, F. 2011. Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project, *Science & Education*, 20: 3-4, 293-316.
- Höttecke, A. D. & Riess, F. 2012 *Science & Education* 21:9 1229-1232.

- Irwin, A. R. 2000. Historical Case Studies: Teaching the Nature of Science in Context. *Science Education*, 84:1, 5–26.
- Irzik, G. & Nola R. 2011. A Family Resemblance Approach to the Nature of Science. *Science & Education* 20:7-8, 591–607.
- Irzik, G. & Irzik, S. 2002. Which Multiculturalism? *Science & Education*, 10:3, 393–404.
- Irzik, G. 2000a. Back to Basics: A philosophical Critique of Constructivism. *Science & Education*, 10:5, 621–639.
- Irzik, G. 2000b. Universalism, Multiculturalism, and Science Education. *Science Education*, 84:1, 71–73.
- Jackson, P.W. (toim.). 1992. *Handbook of Research on Curriculum*. New York: MacMillan.
- Jacob, M. C. & Steward, L. 2004. Practical Matter. Newtons science in the service of industry and empire, 1687–1851. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Jardine, N. 2003. Butterfied and History of science of Today. *History of Science*, 41:2, 131–151.
- Jardine, N. 2000a. Koyré's Kepler/ Kepler's Koyré. *History of Science*, 38:4, 364–376
- Jardine, N. 2000b. Uses and abuses of anachronism in the history of the sciences. *History of Science*, 38:3, 251–270.
- Jardine, N. & Frasca-Spada M. 1996. Splendours and Miseries of The Science wars. *Studies of the History and Philosophy of Science*, vuosikerta:numero, 219–235.
- Jasanoff, S. 2003. Technology of Humility Citizen Participation in Governing Science. *Minerva*. 41:3, 233–244.
- Jasanoff, S. 2000. Can Science Studies and the History of Science Live Happily Ever After? *Social Studies of Science*, 30:4, 621–631.
- Jenkins, E. W. & Nelson, N. W. 2005. Important but not for me: students' attitudes towards secondary school science in England. *Research in Science & Technological Education*, 23:1, 41–57.
- Jenkins, E.W. 2000. Constructivism in School Science Education: Powerful Model or the most Dangerous Intellectual Tendency. *Science and Education*, 8:4, 590–612.
- Jenkins, E. W. 2002. Linking School Education with Action. Teoksessa Roth, W.-M. & Désautels, J. *Science Education as/for Sociopolitical Action*. New York: Peter Lang Publishing, 25–56.
- Joutsivu, T. & Mikkeli, H. (toim.). 2000. *Renessanssin tiede*. Helsinki: SKS.
- Justa, R. & Guilbert, J. 2000. History and Philosophy of Science through model: some challenges to the model "atom", *International Journal of Science Education*, 22:9, 993–1009;
- Juuti, K. & Lavonen, J. 2006. Design-Based Research in Science Education: One Step Towards Methodology. *Nordic Studies in Science Education*, 2006:4, 54–68.
- Juuti, K. 2005. Towards Primary School Physics Teaching and learning: design Approach. Helsinki: Helsingin yliopisto, soveltavan kasvatustieteen laitos, Research Report 256.
- Kaiser, D. 2005. Training and the Generalist's Vision in the History of Science. *Isis*, 96:2, 244–2
- Karvonen, P. 1995. *Oppikirjateksti toimintana*. Helsinki: SKS.
- Kevles, D. J. 2003. Environment. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), *The Oxford Dictionary of the Modern History of Science*. Oxford:Oxford University Press, 269–270.
- Keynes, M. 1995. The Personality of Isaac Newton. *Notes and Records of Royal Society*, 1995:1, 1–56.
- Khishfe, R. & Lederman, N. 2006. Teaching Nature of Science within Controversial Topic: Integrated versus Nonintegrated. *Journal of Research in Science Teaching*, 43:4, 395–416.
- Khishfe, R., Abd-El-Khalick, F., Bell, R & Schwartz, R. S. 2002. Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39:5, 491–527.
- Kiikeri, M. & Ylikoski, P. 2004. Tiede tutkimuskohteena. Filosofinen johdatus tieteen tutkimukseen. Helsinki: Gaudeamus.
- Klostermann, M. 2009. Newsletter of the History of Science Society. 2009:1, 1.
- Kindi, V. 2005. Should Science Teaching Involve the History of Science? An Assessment of Kuhn's View. *Science & Education*, 13:7/8, 721–731.
- Kivinen, O. & Tero Piironen, 2008, Kehollisesta osaamisesta kielelliseen tietoon, teoksessa Pragmatismi filosofiassa ja yhteiskuntatieteissä. Kilpinen, Kivinen ja Pihlström. Helsinki: Gaudeamus.
- Kilpinen, E. Kivinen, O ja Sami Pihlström (toim.), 2008, Pragmatismi filosofiassa ja yhteiskuntatieteissä. Helsinki: Gaudeamus.
- Kivinen, O. & Ristelä, P. 2007. Totuus, kieli ja käytäntö: pragmatistisia näkökulmia toimintaan ja osaamiseen. Helsinki: WSOY.

- Klassen, S. 2009. The Constuction and Analysis of a Science Story: A proposed Methodology. *Science & Education*, 17:3, 401–423.
- Klassen, S. 2007. The application of historical narrative in science learning: the cable story. *Science & Education*, 15:3-5, 335–352.
- Kline, R. 1995. Construing 'Technology' as 'Applied Science': Public Rhetoric of Scientists and Engineers in the United States, 1880–1945. *Isis*, 86:2, 194–221.
- Klopfer, L. E. 1969. The teaching of science and the history of science. *Journal of Research of Science Teaching*, 6:1, 87–95.
- Klostermann, M. 2009. Where is History in the Science Classroom? Newsletter of the History of Science Society, January, s.1.
- Knain, E. 2001. Ideologies in school science textbooks. *International Journal of Science Education*, 23:3, 319–329.
- Knorr-Cetina, K. D. 1981. *The Manufacture of Knowledge, An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science*. Oxford: Pergamon Press.
- Koertge, N. 1988. *A House Build on the Sand*. New York, NY: Oxford University Press.
- Kohler, R. K. 2005. A Generalist Vision. *Isis* 96:2, 224–229.
- Kohler, R. K. 1999. The Constuctivist Toolkit, Essay Review. *Isis*, 90:2, 329–331.
- Kojevnikov, A. 2008. The Phenomen of Soviet Science. *Osiris*, 23:1, 115–136.
- Koyré, A. 1957. *From the Closed world to the Infinite Universe*. Baltimore: Johns Hopkins University.
- Koyré, A. 1965. *Newtonian Studies*. London: Chapman & Hall.
- Koyré, A. 1978. *Galilei studies*. London: The Harvester Press.
- Kragh, H. 1998. Social Constructivism, the Gospel of New Science and the Teaching of Physics. *Science & Education*, 16:2, 231–243.
- Krugly-Smolka, 2004. Let's Stop Talking about Western Science. *Canadian Journal of Science, mathematics and Technology Information*, 4:4, 419–412.
- Kubli, F. 2006. Teachers should not only Inform but also Entertain. (julkaisulistalla). *Science & Education*.
- Kubli, F. 2001. Can the Theory of Narratives Help Science teachers to be better Storytellers. *Science & Education*, 9:4, 595–599.
- Kuhn, T. S. 1996 (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Enlarged version. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn, T. S. 1977. *The Essential Tension*. Chigaco: University of Chicago Press.
- Kuhn, T. 2000. *The Road Since Structure*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kukkamäki, T.J. 1987. "Maapallon muodon selvittelyä". Teoksessa Lehti, R., Rydman, J. & Markkanen, T. (toim.), *Jättiläisten hartioilla*. Helsinki: Ursa.
- Labinger, J.A. & Collins, H. (toim.) 2007. *Ainoa kulttuuri? Suom. Kimmo Pietiläinen*. Helsinki: Terra Cognita.
- Larvor, B. 2003. Why did Kuhn's Structure of scientific revolutions cause a fuss? *Studies in History and Philosophy of Science*, 34:3, 381–395.
- Latour, B. 2006. Emme koskaan ole olleet moderneja. Suom. Risto Suikkanen. Tampere: Vastapaino.
- Lavonen, J. 2007. National science education standards and assessment in Finland. Teoksessa Waddington, D., Nentwig, P. & Schazel, S. M (toim.). *Making it comparable: standards in science education* Münster: Waxmann, 101–126.
- Lavonen, J., Meisalo V., Byman, R., Uitto, A. & Juuti K. 2005. Pupil Interests In Physics, A Survey in Finland. *NorDiNa*, 2/2005.
- Lawson, A. E. 2009. On the Hypothetico-Deductive Nature of Science – Darwin's Finches. *Science & Education*, 17:1, 119–124
- Lawson, A. E. 2003. Allchin's Shoehorning, or Why Science is Hypotetic Deductive. *Science and Education*, 12:3, 331–337.
- Lawson, A. E. 2002. What does Galileo's Discovery of Jupiter's Moons Tell Us about the Process of Scientific Discovery. *Science and Education*, 10:1, 1–24.
- Lawson, A. E. 2000. The Generality of Hypothetico-Deductive Reasoning: making Scientific Thinking Explicit. *The American Biology Teacher*, 2000/7, 482–495.
- Laudan, L. 1990. *The History of Science and the Philosophy of Science*. Teoksessa (toim.) Olby, R.C., Cantor, G.N., Christie, J. R.R. & Hodge, M. J.S. (toim.), *Companion to the History of Modern Science*. London: Routledge, 47–60.

- Laudan, R. 1993. History of Science and its Uses: review to 1913. *History of Science*, 31:1, 1–34.
- Laudan, R. 2003a. Instrumentalism and Realism. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), *The Oxford Companion to the History of Modern Science*. Oxford: Oxford University Press, 405–406.
- Laudan, R. 2003b. Method, Scientific. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), *The Oxford Companion to the History of Modern Science*. Oxford: Oxford University Press, 419–420.
- Laudan, R. 2003c. Positivism and Scientism. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), *The Oxford Companion to the History of Modern Science*. Oxford: Oxford University Press, 670–671.
- Laugsch, R. C. 2000. Scientific Literacy: A Conceptual Overview. *Science Education*, 84:1, 71–94.
- Leach J. & Scott P. 2003. Individual and Sociocultural Views of Learning in Science Education. *Science & Education*, 11:1, 91–113.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., Schwartz, R. S. 2002. Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of The nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39:6, 497–521.
- Lederman, N. G., Wade, P. D. & Bell, R. L. 1998. Assessing the Nature of Science: What is the Nature of Our Assessment? *Science & Education*, 6:5, 595–615.
- Lederman, N. G. & O'Malley, M. 1990. Students' perceptions of the tentativeness in science: Development, use and sources of change. *Science Education*, 74:2, 225–239.
- Lee, M., Wu, Y. & Tsai, C. 2008. Research Trends in Science Education from 2003–2007: A content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 1–22.
- Lehti, R. 2001. *Leijonan häntä. Luoko tietoa tietoa luonto vai ihminen?* Helsinki: Ursa.
- Lehti, R. 1999. *Siderius Nuncius, Galileo Galilei*. Helsinki: Ursa. Tämä oli jo listassa Galileon kohdalla – kumpaan laitetaan, sinne vai tähän?
- Lehti, R. 1989. *Tanssi auringon ympäri*. Jyväskylä: Gummerus, Ursa.
- Lehti, R., Markkanen T. & Jan Rydman, J. (toim.) 1988. *Isaac Newton – Jättiläisen hartioilla*. Helsinki: Ursa.
- Lehti, R. 1988. Newtonin dynamiikka Principian ensimmäisessä kirjassa. Teoksessa Lehti, R., Markkanen T. ja Rydman, J. (toim.), *Isaac Newton – Jättiläisen hartioilla*. Helsinki: Ursa.
- Leikola, A. 1968. *Biologian maailmasta*. Helsinki: WSOY.
- Leikola, A. 1980. *Oppineisuuden hirmu*. Helsinki: WSOY.
- Leite, L. 2002. History of Science Education: Development and Validitation of a Checklist for Analysing the Historical Content of Science Textbook. *Science and Education*, 10:4, 333–359.
- Lin, H. & Chen, C. 2002. Promoting Chemistry Teachers' Understanding about the Nature of Science Through History. *Journal of Research in Science Teaching*, 39:9 773–792.
- Lin, H., Jui-ying, H. & Hung, S. 2002. Using the history of science to promote students' problem-solving ability. *International Journal of Science Education*, 24:5, 453–464.
- Lindberg, D. C., & Numbers R.L. (toim.). 2003. *When Science & Christianity Meet*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lindberg, D.C. 2003. Galileo, the Church and Cosmos. Teoksessa eds. Lindberg and Numbers. *When Science & Christianity Meet*, s. 33–60.
- Lindberg, D. C. 1995. Medieval Science and Its Religious Context. *Osiris*, Vol.10, 61–79.
- Lindberg, D.C. *The Beginnings of Western Science* 1992. Chicago: Chicago University Press.
- Linden, S. J. 2003. *The Alchemy Reader, From Hermes Trismegistus to Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lindh, M. 2006. Teknologiseen yleissivistykseen kasvattamisesta – teknologian oppimisen struktuuri ja sen soveltaminen. Oulu: Acta universitatis ouluensis. E Scientiae Rerum Sociacum 83.
- Lombardi, O. 1999. Aristotle, Physics in the Context of Teaching: A Historical Philosophical Approach. *Science & Education*, 7:2, 217–237.
- Longbottom, J. E. 1999. Why Teach Science? Setting Rational Goals for Science Education. *Science Education*, 83:4, 473–492.
- Losee, J. 2001. *A Historical Introduction to the Philosophy of Science*. Oxford: Oxford University Press.
- Loving, C.C. & Cobern, W. W. 2000 Invoking Thomas Kuhn; What Citation Analysis Reveals about Science Education. *Science & Education*, 8:2, 187–206.
- LOPS. 2004. *Lukion opetussuunnitelman perusteet*. Helsinki: Opetushallitus.
- Lux, D. & Cook, H. 1998. Closed Circles or Open networks?: Communicating at a Distance During the Scientific Revolution. *History of Science*, 35:2, 179–211.

- Löfström, J. (toim.). 2002. Kohti tulevaa menneisyyttä. Jyväskylä: PS-Kustannus.
- Lynn, L. S. 2006. Scientific Explanation from the Formal causes to Laws of Nature. Teoksessa Park, K. & Daston, L. (toim.) The Cambridge History of Science. Cambridge: Cambridge University Press, 70–105.
- Lynning, K. H. 2006. Portraying Science as Humanism – A Historical Case Study of Cultural Boundary Work from the Dawn of the ‘Atomic Age’. Science & Education, 14:4. 479–510.
- Machamer, P. 1998. Philosophy of Science: An Overview for Educators. Science & Education, 6:1, 1–11.
- MacLachlan, J. 1998. Experienting in History of Science. Isis, 89:1, 90–94.
- Manuel, F. 1968. The Portrait of Isaac Newton. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press.
- Marsch, U. 2003. Laboratory, Industrial Research Teoksessa Heilbron, J. (toim.), The Oxford Dictionary to the History of Modern Science. Oxford: Oxford University Press, 443–445.
- Martin-Hansen, L.-M. 2008. First-Year College Students’ Conflict with Religion and Science. Science & Education, 317–357.
- Mason, S. F. 1956. Main Currents of Scientific Thought. A History of Science. London: Routledge & Kegan Paul.
- Mandelbrot, S. 2004. Newton and Newtonianism. An Introduction. Studies in History and Philosophy of Science, 35:3, 415–425.
- Matthews, M. R. 2009. Teaching the Philosophical and Worldview Components of Science. Science & Education, 17:6-7, 641–666.
- Matthews, M. R. 2004. Introduction. Science & Education, 13:7/8, 609–611.
- Matthews, M. R. 2004a. Idealisation and Galileo’s Pendulum Discoveries: Historical, Philosophical and Pedagogical Considerations. Science & Education, 13: 7/8, 689–715.
- Matthews, M. R. 2004b. The Pendulum, it’s Place in Science, Culture and Pedagogy. Science & Education, 13:3/4, 261–277.
- Matthews, M. R. 2004c. Thomas Kuhn’s Impact on Science Education: What Lessons can Be Learned? Science Education, 78:2, 90–118.
- Matthews, M. R. 2001. Back to Basic: Comment on Irzik. Studies in Philosophy of Education, 9:2, 177–180.
- Matthews, M. R. 2000. Editorial. Science & Education, 9:6, 511–532
- Matthews, M. R. 1998. Constructivism in science education: A philosophical examination. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Matthews, M. R. 1994. Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science. New York: Routledge.
- Matthews, M. R. 1989. History, Philosophy, and Science teaching: A Brief Review. Synthese, 108:1, 1–7.
- McClellan, J. E. & Horn, H. 1999. Science and technology in World History. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- McComas, W. F. 2008. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. Science & Education, 17:2/3, 249–292.
- McComas, W. F. & Olsen, J.K. 1998. The Nature of Science of Science in International Standards Documents. Teoksessa McComas, W.F. (toim.), The Nature of Science in Science education: Rationales and Strategies, 41–51.
- McComas, W. F. (toim.). 1998b. The Nature of Science in Science education: Rationales and Strategies. Contemporary Trends and Issues in Science education. Dordrecht: Kluwer.
- McComas, W. F., Almazroa, H. & Clough, M.P. 1998. The nature of Science in Science Education: An Introduction. Science & Education, 7:6, 511–532.
- McKenney, S., Nieveen, N., van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S. & Nieveen, N. 2006. Introduction to educational design research. Teoksessa van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S. & Nieveen, N. (toim.), Educational Design Research. London: Routledge, 110–144.
- McNeil, L. 1986. Contradiction of Control. School Structure and School Knowledge. New York: Routledge & Kegan Paul.
- Merton, R. K. 1988. The Matthew Effect in Science, II, and the Cumulative Advantage Symbolism of Intellectual property. Isis, 79:3, 626–623.
- Merton, R. K. 1978 (alunperin 1938). Science, Technology and Society in Seventeenth Century England. With New Introduction by the Author. New Jersey: Humanities.

- Merton, R. K 1937. The Sociology of Science. *Isis*, 27:3, 493–503.
- Metsämuuronen, J.(toim.). 2006. Laadullisen tutkimuksen käsikirja. Helsinki : International Methelp.
- Metz, D., Klassen S., McMillan, B., Clough M. & Olson, J. 2006. Building a Foundation for the use of Historical Narratives. *Science & Education*, 24:2-4, 313–334.
- Millar, R. 2006. Twenty First Century Science: Insights from the Design and Implementation of a Scientific Literacy Approach in School Science. *International Journal of Science Education*, 28:13, 1499–1521.
- Millar, R. & Osborne, J. 1998. Beyond 2000: Science Education for the Future. London: Kings College.
- Miller, D. P. 2002. The 'Sobel Effect'. *Metascience*, 11:2, 185–200.
- Miller, D. P. 2004a. Absolutely Fabulous. *Social Studies of Science*, 34:3, 453–459.
- Miller, D. P. 2004b. True myths: James Watt's kettle, his condenser and his chemistry. *History of Science*, 42:3, 333–360.
- Milne, C. 1998. Philosophically Correct Science Stories? Examining the Implications of Heroic Science Stories for School Science. *Journal of Research of Science Teaching*, 35:2, 175–187.
- Mokyr, J. 2005. The Intellectual Origins of Modern Economic Growth. *The Journal of Economic History*, 65:2, 285–350.
- Molland, A.G. 1984. Aristotelian Science. Teoksessa Olby, R.C., Cantor, G.N., Christie, J. R.R. & Hodge M. J. S. (toim.), 1990. Companion to the History of Modern Science. London: Routledge.
- Monk, M. & Osborne. 1997. Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy. *Science Education*, 6:3, 405–424
- Morrell, J.B. 1982a. Externalism. Teoksessa Bynum, W.F., Browne, E.J. & Porter, R. (toim.), Dictionary of the History of Science. Hong Kong: MacMillan, 145–146.
- Morrell, J.B. 1982b. Internalism. Teoksessa Bynum, W.F., Browne, E.J. & Porter, R. (toim.), Dictionary of the History of Science. Hong Kong: MacMillan, 211.
- Morus, I. R. 2009. What is History of Science really Like? *History of Science*, 47:3, 359–366.
- Mosley, M & Lynch, J. 2010. The Story of Science: power, proof and passion. London: BBC books.
- Moss, J. D. & Wallace, W.A. 2003. Rhetoric and Dialectic in the time of Galileo. Washington, D.C.: Catholic University of America Press.
- Myllyntaus, T. 1992. Teknologia historian tutkimuskohteena. Teoksessa Vilku H. J. (toim.), Artikkeleita tekniikan ja teknologian historiasta. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto.
- Nanda, M. 2003. Antiscience. Teoksessa Heilbron J. (toim.), The Oxford Dictionary of the History of Modern Science, 39–41.
- Nashon, S., Wendy, N. & Petrina, S. 2008. Whatever happened to STS? Pre-service physics teachers and the history of quantum mechanics. *Science & Education*, 17:4, 387–401.
- Nersessian, N. J. 1995. Opening the Black Box: Cognitive Science and History of Science. *Osiris*, 10, 194–211.
- Nersessian, N. J. 1991. How Do Scientists Think? Teoksessa Giere, R. N. (toim.), Cognitive Models of Science. Minnesota Studies in the Philosophy of Science.
- Netz, R. & Noel, W. 2008. The Archimedes Codex. Reveiling the Blueprint of Modern Science. London: Phoenix.
- Newton-Smith, W.H. 1990. Realism. Teoksessa Olby, R.C., Cantor G.N., Christie, J.R.R. & Hodge, M.J.S. (toim.), Cambridge Companion to the History of Modern Science, 181–201.
- Niaz, M., Abd-El-Khalick, F., Benarroch, A., Laburei, C.E., Nicolas, M., Monter, L.A., Nola, R., Orlik, Y., Scharman, L.C., Chin-Chang Tsai & Tsapalis, G. 2003. Constructivism: Defence or Continual Appraisal – A response to Perez et al. *Science & Education*, 12:7, 787–797.
- Niaz, M. 2009. Progressive transitions in chemistry teachers' understanding of nature of science based on historical controversies. *Science & Education*, 18:1, 43–65.
- Niaz, M. 2001. Understanding Nature of Science as Progressive Transitions in Heuristic Principles. *Science Education*, 85:5, 684–690.
- Nickles, T. 2003. Theories of Scientific Development. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), The Oxford Companion to the History of Modern Science, 738–741.
- Nickles, T. 1995. Philosophy of Science and History of Science. *Osiris*, 10, 139–163.
- Nye, M. J. 2006. Scientific Biography: History of Science by Another Means? *Isis*, 97:2, 321–333.
- Norris, S. P., Guilbert, S. M., Smith, M.S., Hakimelahi, S. & Phillips, L.M. 2005. A Theoretical Framework for Narrative Explanation in Science. *Science Education*, 89:4, 535–563.
- Ogborn, J. 1997. Constructivist Metaphors of Learning Science. *Science & Education*, 5:2, 121–133.

- Olby, R.C., Cantor, G.N., Christie, J. R. R. & Hodge M. J.S. (toim.). 1990. Companion to the History of Modern Science. London: Routledge.
- Olesko, K. 2003a. Historiography of Science. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), The Oxford Dictionary to the History of Modern Science, 366–370.
- Olesko, K. 2003b. Marxism. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), The Oxford Dictionary to the History of Modern Science, 487–488.
- Olesko, K. 2003c. Modernity and postmodernity. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), The Oxford Dictionary to the History of Modern New York: RoutledgeFalmer Science, 540–541.
- Osborne, J. 2004. Making science matter. Teoksessa Scanlon, E., Murphy, P. Jeff Thomas, J. & Elisabeth Whitelegg. Reconsidering Science Learning.
- Osborne, J. 2003a. Attitudes towards science: a review of the literature and its implications International Journal of Science Education. 25:9, 1049–1079.
- Osborne, J., Collins, S., Rattcliffé, M. & Duschl, R. 2003b. What “Ideas-about Science” Should Be Taught in School Science? A Delphi Study of the Expert Community. Journal of Research in Science Teaching, 40:7, 692–720.
- Osler, M. J. 2000. Rethinking Scientific Revolution. Cambridge: Cambridge University Press.
- Paley, W. 2006 (alunperin1802). Natural Theology. Oxford World’s Classic Series. Oxford: Oxford University Press.
- Pancaldini, G. 2003a. Priority. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), The Oxford Companion to the History of Modern Science, 676–677.
- Pancaldini, G. 2003b. Progress. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), The Oxford Companion to the Modern History of Science, 680.
- Pancaldini, G. 2003c. Tacit Knowledge. Teoksessa Heilbron, J. (toim.), The Oxford Companion to the History Modern Science, 789.
- Pandora, K. & Rader, K. 2008. Science in the Everyday World, Why Perspectives from the History of Science Matter. Isis, 99:3, 350–364.
- Pannabecker, J. 2004. Who’s driving? Technology, Education and History. Journal of Technology Education, 16:1, 71–83.
- Park, K. and Daston, L. 2006 (toim.) The Cambridge History of Science vol. 3. Cambridge: Cambridge University Press.
- Park, K. 2005. Women, Gender, and Utopia The Death of Nature and the Historiography of Early Modern Science. Isis, Focus, 96:3, 485–497.
- Pestre, D. 2004. Thirty years of Science Studies: Knowledge, Society and Practice. History and Technology, 351–369.
- Petrovski, H. 1992. To Engineer is Human, The role of Failure in Successfull Design. New York: Vintage Books.
- Phillips, D.C. 2004. Two Deacades After:”After The Wake: Posposivist Educational Thought”. Science & Education, 12:1, 67–84.
- Pickstone, J. V. 1998. Ways of knowing: A new history of science, technology and medicine. Manchester: University of Manchester Press.
- Pickstone, John V. 1985. What is History of Science, History of Today? 1985/6, 46–47.
- Pihlström, S. 1997. Tutkiiko tiede todellisuutta? Realismi ja pragmatismi nykyisessä tieteenfilosofiassa. Helsinki: Helsingin yliopiston filosofian laitoksen julkaisuja 197.
- Pinch, T. J. & Bijker, W. E. 2002. Teoksessa Scharff, R.C. & Dusek V. (toim.). The Social Construction of Facts and Artifacts, 221–233.
- Pinch, T. J. 1990. The Sociology of the Scientific Community. Teoksessa Olby, R.C., Cantor, G.N., Christie, J. R.R. & Hodge M, J.S. (toim.). Cambridge Companion to the History of Modern Science, 87–99.
- Pinnick, C. & Gale, G. 2000. Philosophy of Science and History of Science: A troubling interaction. Journal for General Philosophy of Science, 31:1,109–125.
- Pitt, J. C. 1990. The Myth of Science Education. Studies in Philosophy and Education, 7–17.
- Polanyi, M. 1987. Personal Knowledge, Towards a Post–Critical Philosophy. Chicago: The The Chicago University Press.
- Polanyi, M. 2009 (1966). The Tacit Dimension. Chicago: Chicago University Press.
- Popper, K. 1995. Arvauksia ja kumoamisia, tieteellisen tiedon kasvu. Helsinki: Gaudeamus.
- Popper, K. 1962. The Open Society and Its Enemies. London: Routledge & Kegan Paul.

- Porter, R. (ed.) 2004. *The Cambridge History of Medicine*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Porter, R. 2002. *Blood and Guts, A Short History of Medicine*. London: Penguin Books.
- Porter, R. 1990. *The History of Science and the History of Society*. Teoksessa Olby, R.C., Cantor, G.N., Christie, J. R.R. & Hodge M, J.S. (toim.). *The Cambridge Companion to the History of Modern Science*. Routledge.
- Porter, R. 1985. What is History of Science? *History of Today* 1985/5, 40–41.
- Porter, R. 1990. *The History of Science and the Philosophy of Science*. (toim.) Olby, Cantor, Christie and Hodge 1990, s. 37–38.
- Porter, T. M. 2008. How Science Became Technical. *Isis*, 99:3, 292–309.
- Porter, T. M. 2006. Is the Life of the Scientist a Scientific Unit? *Isis Focus*, 97:3, 314–321.
- Posio-Paloposki, A. 2006. *Koulukasvatusta teknologisoituvaan yhteiskuntaan*. Helsinki: Helsingin yliopisto, Yhteiskuntatiedollisen kasvatuksen tutkimus- ja kehittämiskeskus.
- Price, D. J. de S. 1986. *Little science, big science – and beyond*. (Forward, by Robert K. Merton and Eugene Garfield). New York, NY: Columbia University Press.
- Pyenson, L. & Sheets-Pyenson, S. 1999. *Servants of Nature: a history of scientific institutions, enterprises and sensibilities*. New York: W. W. Norton.
- Pyenson, L. 1990. *Imperialism and Science*. Teoksessa Olby, R.C., Cantor, G.N., Christie, J. R.R. & Hodge M, J.S.(eds.). *Companion to the History of Modern Science*. Routledge, 920–933.
- Principe, L. M. 2007. *Transmuting History*, *Isis* 97:4, 779–787.
- Rasinen, A. 2000. *Developing Technology Education. In Search of Curriculum Elements for Finnish General Education Schools*. Jyväskylä: University of Jyväskylä.
- Ravetz, J. R. 1971. *Scientific Knowledge and its Social Problems*. Oxford: Oxford Press.
- Redondi, P. 1987. *Galilei Heretic* (translated Raymond Rosenthal). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Reingold, N. 1973. Book review, Jerome, R. Ravetz, *Scientific knowledge and its Social Problems*. *Isis*, 64:1, 222.
- Reis, P. & Cecilia, G. 2004. The Impact of Socio-Scientific Controversies in Portuguese Natural Science Teachers' Conceptions and Practices. *Research in Science Education*, 153–171.
- Riskin, J. 2003. *Newtonianism*. Teoksessa Heilbron, J. (toim.). *The Oxford Dictionary of The History of the Modern Science*, 574–576.
- Roger, J. 1980. *Essay Review of Dictionary of Scientific Biographies*. *Isis*, 71:4, 647–653.
- Roll-Hansen, N. 2008. *Wishful Science: The persistence of T.D. Lysenko's Agrobiology in the Politics of Science*. *Osiris*, 23, 166–188.
- Rosenberg, C. E. 1988. Editorial: Woods or Trees: Ideas and Actors in the History of Science. *Isis*, 79:4, 565–570.
- Rosenberg, C. E. 1987. *Isis at Seventy-Five*. *Isis*, 78:4, 515–517.
- Rosenberg, C. E. 1983. *Science in American Society, A Generation of Historical Debate*. *Isis*, 74:2, 356–367.
- Rossi, P. 2010. *Modernin tieteen synty Euroopassa*. Tampere: Vastapaino.
- Roth, W.-M. 2005. *Ethnometodology and the R/Evolution of Science Education*, *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 185–198,
- Roth, W.-M. & Stuart, L. 2004/1. *Science Education as/for Participation in the Community, Science Education*.
- Roth, W.-M. & Désautels, J. 2002. (toim.). *Science Education as/for Sociopolitical Action*. New York: Peter Lang Publishing.
- Roth, W.-M. & Désautels, J. 2002. *Charting the landscape*. Teoksessa Roth, W. – M. & Désautels, J. (toim.) *Science Education as/for Sociopolitical Action*.
- Rudolph, J. L. 2003. *Portraying Epistemology: School Science in Historical Context*. *Science Education*, 87:1, 64–79.
- Rudolph, J. L. 1998. *Jim Stewart, Evolution and the Nature of Science: On the Historical Discord and Its Implications for Education*. *Journal of Research in Science Teaching*, 35:9, 869–889
- Rudge, D. W. & Howe, E. M. 2007. *An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science*. (julkaisulistalla). *Science and Education*
- Rudwick, M. J. S. 1988. *The Great Devonian Controversy: the shaping of scientific knowledge among gentlemanly specailists*. Chicago: Chicago University Press.

- Rüsen, J. 1987. Historical Narration, Historical Narration: Foundation, Types, Reason, History and Theory, s. 81–120.
- Salminen, J. 2002. Alamainen sivistysprojekti, tasa-arvo ja edistys. Suomen yksityisten oppikoulujen rakenteellinen kehitys 1872–1920. Helsinki: Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos.
- Sargent, R.-M. 2003. Aristotelians. Teoksessa Heilbron, J. (toim.). The Oxford Companion to the History of Modern Science, 44–45.
- Scharff, R.C. & Dusek V. 2002. Philosophy and Technology, The technological Condition. Oxford: Blackwell Philosophy Anthologies.
- Scanlon, E., Murphy, P. Jeff Thomas, J. & Elisabeth Whitelegg, E. 2004. Reconsidering Science Learning. New York: RoutledgeFalmer.
- Schiberci, R. & Libby L. 2003. Portrayals of Science and Scientists, and 'Science for Citizenship', Research in Science & Technological Education, 178–192.
- Schaffer, S. 2009. Newton on the beach: The Information order of Principia mathematica, History of Science, 47:2, 243–276.
- Schuster, J. A. 1990. The Scientific Revolution. Teoksessa Olby, R.C., Cantor, G.N., Christie, J. R.R. & Hodge M, J.S.(eds.). Cambridge Companion to the History of Modern Science, 217–243.
- Skordoulis, C. D. 2009. Science and worldviews in the marxist tradition. Science & Education, 19:2, 257–269.
- Secord, J. A. 2002. Victorian Sensation, The Extraordinary Publication, Reception, and Secret Authorship of Vestiges of Natural History of Creation. Chicago: University of Chicago Press.
- Secord, J. A. 2004. Knowledge in Transit. Isis, 95:4, 654–672.
- Seker, H. & Welsh, L. C. 2006. The use of Mechanics in Teaching Motion and Force unit, Science and Education, 15:1, 55–89.
- Seroglou, F., Koumaris P. & Tselfes, V. 1998. History of science and Instructional Design: The case of Electromagnetism. Science Education, 6:2, 261–280.
- Shapere, D. 1974. Galilei: a philosophical study. Chicago: University Chicago Press.
- Shapin, S. 2005. Hyperprofessionalism and the Crises of Readership in History of Science. Isis, 96:2, 238–243.
- Shapin, S. 1996. The Scientific Revolution. Chicago: University of Chicago Press.
- Shapin, S. 1995. A social History of Truth, Civility and Science in Seventeenth-Century England. Chicago: Chicago University Press
- Shapin, S. 1988. The House of Experiment in Seventeenth-Century England. Isis, 79:3, 373 – 404.
- Sharlin, H. I., Brush, S.G., Burstyn, H.L., Herbert, S., Mahoney, M.S. and Sivin, N. 1975. Teaching the History of Science and Technology. Annals of Science, 32:1, 55–70.
- Shavelson, R., Philips, J.D., Townem, L., & Feur, M.J. 2003. On the Science of education Design Studies. Educational Researcher, 25–28.
- Siegel, H. 2002. Multiculturalism, Universalism, and Science education: In Search of Common Ground. Science Education, 86:7, 803–820.
- Sintonen, M. (toim.) 1998. Biologian filosofian näkökulmia. Helsinki: Gaudeamus.
- Simonton, D. K. 1990. The scientific genius, a psychology of science. Cambridge: Cambridge University Press.
- Smith, M. U. & Scharmann, L.C. 1999. Defining versus Describing the Nature of Science: A Pragmatic Analysis for Classroom Teachers and Science Educators. Science Education, 83:4, 493–509.
- Smith, M. U. & Siegel, H. 2004. Knowing, Believing, and Understanding: What Goals for Science Education. Science and Education, 13:4, 553–582.
- Smith, M. U., Lederman, N., Bell, R., MacComas, W. & Clough, M. P. 1998. How Great is the Disagreement about Nature of Science: response to Alter. Journal of research in Science Teaching, 35:10, 1101–1103.
- Snively, G. & Corsiglia, J. 2001. Discovering Indigineous Science: Implications for Science Education. Science Education, 85:1, 6–34.
- Sobel, D. 2000. Galileon tytär. Suom. Juhani Lindström. Otava:Helsinki.
- Sobel, D. 2007 (alunperin1995). Longitude, The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time. New York: Harper Perennial.
- Solbes, J. & Traver, M. 2003. Against a Negative Image of Science: History of Science and the Teaching of Physics and Chemistry. Science & Education, 12:6, 703–717.

- Solomon, J. 2004. The UK and the movement for science, technology and society (STS) Education. Scanlon, E., Murphy, P. Jeff Thomas, J. & Elisabeth Whitelegg, E. (toim.). *Reconsidering Science Learning*.
- Solomon, J. 1993. What and Why is STS, Teaching Science, Technology and Society. *Developing Science and Technology Education Series*. Buckingham: Open University Press
- Solomon, J. D, J. Scot, L. & McCarthy, S. 1992. Teaching about the nature of Science through History: Action research in Classroom. *Journal of Research in Science Teaching*.
- Solomon, J. 1989–1990. (toim.) *Nature of Science*, The Association for Science Education. (tieteen historian opetusvihkot).
- Sormunen, K. 2004. Seitsenluokkalaisten episteemiset näkemykset luonnontieteellisen ajattelun yhteydessä. Joensuun yliopiston kasvatustieteellisiä julkaisuja No: 95. Joensuu: Joensuun yliopisto.
- Steele, J. M. 2008. A Brief Introduction to Astronomy in the Middle East. London: Saqi.
- Stinner, A., McMillan, B. A., Metz, D., Jilek, J.M. & Klassen, S. 2003. The Renewal of Case Studies in Science Education. *Science and Education*, 12:5, 617–643.
- Stinner, A. 2001. Linking 'The Book of Nature' and 'The Book of Science': Using Circular Motion as an Exemplar beyond the Textbook. *Science and Education*, 10:3, 323–344.
- Stump, J.B. 2001. History of Science through Koyre's Lenses. *Studies in the History and the Philosophy of Science*, 24:3–263.
- Sullenger, K., Turner, S., Caplan, H., Crummey, J., Cuming, R., Charron C. & Corey, B. 2001. Culture Wars in the Classrooms: Prospectives Teachers Question Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 895–915.
- Sulloay, F. J. 1996. *Born to rebel: birthorder, family dynamics, and creative lives*. London: Little, Brown and Company.
- Syrjälä, L., Ahonen, S., Syrjäläinen, E. ja Saari, S. 1996. *Laadullisen tutkimuksen työtapoja*. Helsinki: Kirjayhtymä.
- Säther, J. 2003. The Concept of Ideology in Analysis of Fundamental Questions in Science Education. *Science and Education*, 12:3, 237–260.
- Taber, K.S. 2008. Towards a Curricular Model of the Nature of Science. *Science and Education*, 17:2, 179–218.
- Tao, P.L. 2002. A Study Students' Focal Awareness when Studying when Studying Science Stories Designed for Fostering Understanding of The nature of Science. *Studies Research in Science education*, 97–120.
- Tao, P. L. 2003. Eliciting and developing junior secondary students' understanding of the nature of science through a peer collaboration instruction in science stories. *International Journal of Science Education*, 35:2, 147–171.
- Terrall, M. 2006. Biography as Cultural History of Science. *Isis*, 97:3, 306–313.
- Teixeiran, E. S., Ileana, S. I., Greca, M. and Freiren, O. 2011. The History and Philosophy of Science in PhysicsTeaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. *Science & Education*, 21:6, 771–796.
- Thackreyn, A. 1984. The Historiogrphy of Science. (teoksessa toim. Durbin, P.T.) *A Guide to Culture of Science, Technology and Medicine*, 5–69.
- Thackrey, A. 1981. Making History. *Isis*, 72:1, 7–12.
- Thagard, P. and Findlay, S. 2010, *Science & Education*, 19:6-8, 625–636.
- Thagard, P. 1997. *Conceptual Revolutions*. Princeton: Princeton University Press.
- Thomsen, D., Prena J. & Luis, M. 2000. The Importance of History of and Science in the Design of Earth Science Curriculum Material for Science Education. *Research of Science and Technology Education*, 32–46.
- Tiede ja Yhteiskunta: Toimintasuunnitelma. 2002. Luxemburg: Euroopan yhteisöjen virallisten julkaisujen toimisto.
- Tolska, T. 2002. Kertova mieli, Jerome Brunerin narratiivikäsitys. Helsinki: Helsingin yliopiston kasvatustieteen laitoksen tutkimuksia 178.
- Tosh, N. 2006. Part I: Historiography, relativism and the Sociology of Scientific Knowledge. *Studies in History and Philosophy of Science*, 675–701.
- Trischler, H. & Hans Weinberger, H. 2005. Engineering Europe Big Technology and Military Systems in the making of 20th Century Europe. *History and Technology*, 21:1, 49–85.

- Tsai, C.-C. & Wen, M. L. 2005. Research and Trends in Science Education from 1998 to 2002: a content analysis of publication in selected journals. *International Journal of the Science Education*, 37:1, 3–14.
- Tsai, C.-C. 2002. Nested epistemologies: science teachers beliefs of teaching, learning and science. *International Journal of Science Education*, 34:7, 771–783.
- Turner, J. R.G. 1990. Olby, R.C., Cantor, G.N., Christie, J. R.R. & Hodge M, J.S. (eds.). *Companion to the History of Modern Science*.
- Turner, S. P. & Paul A. Roth P.A.(eds.). 2003. *The Blackwell Guide to the Philosophy of the Social Sciences*. Oxford: Blackwell.
- Tyack, D. & Cuban, L. 1995. *Tinkering toward Utopia: a century of public school reform*. London: Harvard University Press.
- Tynjälä, P. 1999. Oppiminen tiedon rakentumisena, konstruktivistisen oppimiskäsityksen perusteita. Helsinki: Kirjayhtymä
- Uebel, T. E. 2004. Education, Enlightenment and Positivism: The Vienna Circle's Scientific World Conception Revisited. *Science & Education*, 41–66.
- Viiri, J. 1995. Voimakäsitteen opettaminen ja oppiminen insinööriopiskelutuksen fysiikan kurssissa, University of Joensuu, Department of Physics. Väisälä Laboratory, Dissertations 7. Joensuu: University of Joensuu.
- Vilkuna, K. (toim.). 1993. Artikkeleita tekniikan ja teknologian historiasta. Jyväskylä: Jyväskylän yliopiston julkaisuja.
- Virta, A. 2001. Kohti aktiivista ja tutkivaa historian ja yhteiskuntatiedon oppimista. Teoksessa Löfström, J. (toim.), *Kohti tulevaa menneisyyttä*. Jyväskylä: PS-Kustannus.
- Virta, A. 1995. Abiturientin historian ja yhteiskuntaopin tieto. Reaalikoevastaukset oppilaiden tiedonrakenteiden ja tiedon ilmentäjinä. Turku: Turun yliopisto.
- Väisänen, J. 2005. Murros oppikirjojen teksteissä vai niiden taustalla? Joensuu: Joensuun yliopisto.
- Waddington, D., Nentwig P. & Schaze S. (eds.) 2007. *Making it comparable*. Berlin: Waxmann.
- Wandersee, J. H. 1986. Can the History of Science help science educators anticipate students misconceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 28:5, 581–587.
- Van de Poel, I. & Rooyakkers, L. 2011. *Ethics, Technology and Engineering. An Introduction*. London: Wiley Blackwell.
- Wang, F. & Hammafin, M. J. 2005. Design-Based Research and technology-Enhanced Learning Environment. *Educational Technology Research & Development* 2005, 5–23.
- Wang, H.A., Cox-Pedersen, A.M. 2002. A Comparison of Elementary, Secondary and Student Teacher's Perceptions' and Practices Related to History of Science Instruction. *Science & Education*, 11:1, 69–81.
- Wang, H.A. & Marsh, D. 2002. Science Instruction with a Humanistic Twist: Teachers' Perception and Practice in Using the History of Science in Their Classrooms. *Science & Education*, 11:2, 169–189.
- Wang, H.A. & Schmidt, W.H. 2001. History, Philosophy and Sociology of Science in Science Education: Results from the third Mathematics and Science Study. *Science and Education*, 10: 1-2, 51–70.
- Waters-Adams, S. 2006. The Relationship between Understanding of the Nature of Science and Practice: The influence of teachers' beliefs about education. *International Journal of Science Education*, 28:8, 919–944.
- Wendel, P. J. 2008. Models and Paradigms in Kuhn and Halloun. *Science & Education*, 17:2, 131–141.
- Westfall, R. S. 2000. *The Scientific Revolution Reasserted*. Teoksessa Osler, M. J. (toim.). *Rethinking Scientific revolution*. Cambridge: Cambridge University Press
- Westfall, R.S. 1983. *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Westfall, R.S. 1981. Focus, Internal versus External. *Isis*, 72:3, 405–409.
- Westfall, R. S. 1977. *The Construction of Modern Science, The Cambridge History of Science Series*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Westwick, P. J. 2003a. Basic and Applied Science. Heilbron, J. (toim.) *The Oxford Dictionary of The History of Modern Science*.
- Westwick, P. J. 2003b. Science Wars. Heilbron, J.(toim.) *The Oxford Dictionary of Modern Science*.
- Whewell, W. 1984. *Selected Writings on the History of Science* (toim. Yehuda Elkana), Chicago University Press, 1984.

- Whewell, W. 1971. *On the Philosophy of Discovery: chapters of historical and critical (alunperin 1860).* New York: Franklin.
- Wilde, C.B. 1982. Whig history. Bynum, W.F., Browne, E.J., Porter, R., (toim.). *Dictionary of The History of Science.*
- Wilson, A. & Ashplant, T.G. 1988. Whig History and Present Centered History *The Historical Journal*, 1–16.
- Windschuttle, K. 1997. *The Killing of History: How Literacy and Social Theorists are Murdering Our Past.* New York : Free Press.
- Wittgenstein, L. 1980. *Filosofisia tutkimuksia 1980* (suom. Heikki Nyman). Helsinki: Otava.
- Wood, T. & Berry, B. 2003. Editoria, What does “design research” offer mathematics teacher education. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 6:2, 195–199.
- Wykstra, S. J. 2001. Religious Beliefs, Metaphysical Beliefs, and Historiography of Science. *Osiris*, 30–46.
- Vollman, W.T. 2006. *Uncentering The Earth 2006*
- Young, R. 1985. What is History of Science, History of Today 1985/6, 46–48.
- Ylikoski, P. 1995. Naturalismi. *Niin & Näin*, 36–58.
- Zammito, J. H. 2004. *A Nice Derangement of Epistemes, Postpositivism in the Study of Science from Quine to Latour.* Chicago: University of Chicago Press.
- Zeidler, D. L. & Sadler, T. D. 2008. *Introduction Science and Education*, 799–803.
- Zeidler, D. L. & Sadler T. D., Simmons, M. L. & Howes, E. V. 2005. *Beyond STS: A Research–Based Framework for Socioscientific Issues Education.* Science Education.
- Zilsel, E. 2000. *The Social Origins of Modern Science, Boston Studies in the Philosophy of Science.* Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Ziman, J. 2000. *Real Science, What it is, and what it means.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Ziman, J. 1984. *An Introduction to science studies, the philosophical and social aspects of science and technology.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Ziman, J. 1976. *The Force of Knowledge. The scientific dimension of society.* Cambridge: Cambridge University Press.

Oppikirjat:

- Aalto, J., Aromaa, V., Hanska, J., Hänninen, M., Nieminen, J., Paju, M. ja Salmi, H.. 2010. *Kaikkien aikojen historia. Eurooppalainen ihminen.* Helsinki: Edita.
- Ahonen, S., Heikkinen, A., Lindlöf, T., Rytönen, S. & Tiainen, S. 1983. *Lukion historia, kurssit ja 2. Vantaa: Kunnallispaino.*
- Ahtiainen, M., Aromaa, V., Heininen, S., Kauppinen, S. & Sihvola, J. 2004. *Aikakirja. Eurooppalainen ihminen.* Helsinki: Edita.
- Arola, P., Hongisto, L. & West, P. 1995. *Kronos 2, Eurooppalainen ihminen.* Helsinki: Kirjayhtymä.
- Ekonen, J., Kulju, V., Matsinen, T., ja Saarinen, H. 2006. *Lukion horisontti, Aatteita ja kulttuureja. Eurooppalainen ihminen.* Keuruu: Otava 2006
- Heikkonen, E., Matti Ojakoski, M. & Jaakko Väisänen, J. 2004. *Muutosten maailma, Eurooppalainen ihminen.* Helsinki: WSOY.
- Hiedanniemi, B. ja Sahi, S., Ajasta Aikaan. 2010. *Eurooppalainen ihminen.* Helsinki: WSOY
- Kohi, A., Palo, H., Päiväranta, K. & Vihervä V. 2005. *Forum, Eurooppalainen ihminen.* Keuruu: Otava
- Lahtinen, A., Ripatti, E. ja Similä, R. 2010. *Linkki 2. Eurooppalainen ihminen.* Helsinki: WSOY
- Mantere, O & Sarva G. 1964., *Historian oppikirja keskikouluille, osa II.* Helsinki: WSOY.
- Markkola, P., Mustakallio, K., Oikarinen, J., Oikarinen, S & Salminen, T. 2001. *Eepos, Maailmanhistorian käsikirja.* Helsinki: WSOY.
- Sarva, G. V., ja Niemi, K. V., *Historian oppikirja lukioluokkia varten. II osa. Uusi ja uusin aika.* WSOY. 1965.
- Sarva, G. V., ja Niemi, K. V., *Historian oppikirja lukioluokkia varten. I osa. Vanha aika ja keskiaika.* WSOY. 1971.
- Vierros, T., Kirkinen, H. & Häkli. 1977. *Maailma ennen ja nyt, osa II.* Helsinki: Kirjayhtymä.

SUMMARY

Teaching the history of natural sciences through the history of science

– A design based research on the possibilities of history teaching at upper secondary school

The premise of this doctoral dissertation is practical. It aims to develop the teaching of the history of science. There is, on the whole, plenty of research literature and teaching material pertaining to the history of science available for the upper secondary school level. This material has not, however, been made with the needs of the teaching of history in mind; instead it is geared towards the teaching of science. Research within the framework of the teaching of the history of science has been conducted primarily by researchers interested in the teaching of science, not history. These people claim that ever more knowledge about the general nature of science is needed in modern education. The English term for the general nature of science is the Nature of Science (NOS). This concept is closely linked to projects aiming to reform the teaching of science that by introducing the philosophy of science, the history of science and the sociology of science in to the teaching of science. Pedagogical experiments conducted within the framework of the teaching of the history of science represent two different branches of pedagogical research: Science, Technology and Society (STS) and the History and Philosophy of Science (HPS). These branches examine the history of science from slightly different viewpoints: HPS emphasises the bond between the history of science and research into changes in scientific theories, and it is closely linked to the philosophy of science. STS, on the other hand, stresses the societal nature of science and is linked to the sociology of science. One aim of this doctoral dissertation is to examine how well the pedagogical experiments conducted within these two branches of research are transferrable to the teaching of history.

The history of science has been employed in pedagogical experiments within the HPS and STS traditions. A third teaching method frequently used is narratives about the history of science. However, how can we avoid mythical interpretations of the history of science and opt for pedagogically acceptable themes and narratives? This requires that those devising pedagogical experiments or writing teaching materials for the teaching of science more carefully examined the big picture of nature.

The aim of the present study is to identify valid aims for the teaching of the history of science and develop suitable narratives for the history of science to support these aims. Thus, the big question posed by the present study is how themes and narratives that support the aims of modern teaching of the history of science can be adapted to the upper secondary school level. Furthermore, our analysis shows that it is equally important to examine the traditions of the history of science, i.e. the kind of historical layers that should be taken into account when conducting pedagogical experiments into the teaching of history.

For the purposes of this doctoral dissertation, one upper secondary school course in history, with a syllabus including the history of science, was chosen for further development. We analyse the description of the course as offered in the Curriculum from of three pedagogical developmental viewpoints (which will be called “pedagogical pillars”). Moreover, we examine the possibilities provided by the National Core Curriculum to develop the teaching of the history of science within the framework of this course. After this, again on the basis of the aforementioned pedagogical pillars, we will analyse the practical applications of the description offered in the National Core Curriculum within the course book of an upper secondary

course entitled Eurooppalainen ihminen (“The European Man”). Based on this analysis, we will formulate a proposal for to how the course should be developed and give a broad outline of how the content of upper secondary school history courses should be developed insofar as the teaching of the history of science is concerned.

The final element of this doctoral dissertation is practical. On the basis of our three pillar pedagogical analysis and history of science content analysis, we will make a concrete plan for developing the course. This plan will then be put into practice in the classroom. In this part of the research, we will model our research according to the conventions of Design Based Research. In this type of research, the problems posed by the study of teaching are approached from a pragmatic standpoint, in an effort to come up with concrete answers applicable to teaching. One such research problem is the theme of this doctoral dissertation: the opportunities for the teaching of the history of science at Finnish upper secondary school. The teaching of the history of science is a pedagogically important topic, and it is included in syllabuses and course books. Consequently, its practical applications are worth studying.

Keywords: History of science, science education, Nature of Science, Science, Technology and Society, History and Philosophy of Science and Design Based Research